



# **Responzivní kinetická architektura - algoritmický design s využitím pneumatických systémů**

## **Bakalářská práce**

**Studijní program:** B8208 – Design  
**Studijní obor:** 8206R123 – Design prostředí  
**Autor práce:** **Záviš Unzeitig**  
**Vedoucí práce:** Ing. arch. Saman Saffarian



# **Responsive kinetic architecture - algorithmic design with pneumatic systems**

## **Bachelor thesis**

**Study programme:** B8208 – Design

**Study branch:** 8206R123 – Environmental Design

**Author:** **Záviš Unzeitig**

**Supervisor:** Ing. arch. Saman Saffarian

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše. Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## PODĚKOVÁNÍ

---

Děkuji Ing. arch. Samanu Saffarianovi za příkladné vedení této práce, nadšení a čas, který mi věnoval při konzultacích, a doc. MgA. Janu Stolínovi, jehož názory přispívaly k řešení témat nejen při psaní této práce, ale také po celou dobu studia v jeho ateliéru Prostor S. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Richardu Charvátovi, Ph.D., za cenné podněty a koordinaci během vypracování .

Děkuji Ing. arch. Samanu Saffarianovi a Univerzitě ve Stuttgartu za poskytnutí finanční podpory a firmám Sonad, Derek s.r.o. a Festo s.r.o., zde zejména Ing. Radovanu Kovářovi, Ph.D. za ochotu a poskytnuté informace a materiály. Dále bych chtěl poděkovat Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI) TUL, za poskytnutou techniku a prostory.



## ABSTRAKT

---

Bakalářská práce se zabývá návrhem kinetického responzivního systému v architektuře, jehož princip spočívá v pohyblivé reakci na okolní podněty. Cílem práce byla realizace konkrétního návrhu tohoto systému s využitím pneumatických prvků a to až do fáze funkčního Prototypu. Obsah práce popisuje jednotlivé kroky realizace, které zahrnují konstrukčně-mechanické řešení, výběr vhodných materiálů a prvků systému i návrh pneumatického obvodu včetně jeho elektronického ovládání. Výsledný Prototyp se snaží ukázat možnosti využití pneumatických prvků k vytvoření kinetické architektury a do jisté míry upozorňuje na problémy realizace a jejich řešení a přibližuje toto téma široké veřejnosti.

## ABSTRACT

---

The thesis deals with design of a kinetic responsive system in architecture, whose principle lies in a mobile response to the surrounding environment. The aim of the work was to realize a concrete design of this system using pneumatic elements until the phase of a functional prototype. The content of the thesis describes the individual steps of the implementation, which include design-mechanical solution, selection of suitable materials and elements of the system as well as design of the pneumatic circuit including its electronic control. The resulting prototype tries to show the potential of using pneumatic elements to create kinetic architecture and to bring the subject to the general public.

## KLÍČOVÁ SLOVA

---

kinetika, responzivita, pneumatická architektura, pneumatika, parametrika, algoritmizace, Pasivní a aktivní systém, Bottom-up, prototyp, grasshopper, Ant Farm, Doris Sung, Ronald Van der Meijs, samoorganizace, arduino, PLC, Festo, elektromagnetické ventily,

## KEY WORDS

---

kinetic, responsive, pneumatic architecture, pneumatics, parametricism, algorithmic, passive and active system, Bottom-up, prototype, Grasshopper, Ant Farm, Doris Sung, Ronald Van der Meijs, self- organisation, arduino, PLC, Festo, electromagnetic valves

## NOMENKLATURA

---

**Kinetická architektura** je architektura s pohyblivými částmi konstrukce

**Pneumatická architektura** využívá vzduch ke změnám tvaru nebo funkce

**Pavilon** je ozdobná nebo reprezentativní stavba

**Aktuátor** je akční člen

**Algoritmus** je přesný návod nebo postup pro řešení různých úloh

**Parametrika** je možnost ovládat a měnit parametry daného modelu, či úlohy

**Samoorganizace** je proces, při kterém se dané prvky dokáží samy uspořádat bez předem definovaného pravidla

**Arduino** je programovatelný mikroprocesorový kit, sloužící k řízení jednoduchých úloh

**PLC** je programovatelný logický automat

**Digitální vstup** má pouze dva stavy- logickou nulu a logickou jedničku

**Analogový vstup** zpracovává spojitý elektrický signál v rozsahu 0(4) -20mA nebo 0-10V

**Grasshopper** je parametrický modelovací software

**Plug-in** je zásuvný modul softwaru

**Bottom-up** metoda navrhování, která stanoví cíle a způsoby jejich dosažení cestou zdola nahoru.

## SEZNAM OBRAZOVÝCH PŘÍLOH A TABULEK

---

**Obrázek 1:** Ant Farm, Inflatable, 1971

**Obrázek 2:** Ant Farm, Inflato Cookbook, 1971

**Obrázek 3:** Coop Himmelb(l)au, Restless Sphere, 1971

**Obrázek 4:** Coop Himmelb(l)au, Cloude 68, 1968

**Obrázek 5:** ICD-ITKE Research Pavilion, 2013-14

**Obrázek 6:** ICD-ITKE Research Pavilion, 2014-15

**Obrázek 7:** Behavioural Complexity, Spyropoulos Design Lab

**Obrázek 8:** DO|SU Studio Architecture, Bloom, 2012

**Obrázek 9:** Ronald Van Der Meijs, Capsule of Life, 2013

**Obrázek 10:** Schéma konceptu návrhu

**Obrázek 11:** Základní schéma konceptu

**Obrázek 12:** University of Southern Denmark Kolding Campus, Henning Larsen Architects, 2015

**Obrázek 13:** Tensegrity, Buckminster Fuller, 1978

**Obrázek 14:** Al-Bahar Tower- Dubai, 2012

**Obrázek 15:** Základní schéma přístupu k digitálnímu navrhování

**Obrázek 16:** Antoni Gaudí, parametrický model Colonia Guell, 1898

**Obrázek 17:** Základní znázornění funkce komponentu násobení v GH

**Obrázek 18:** Příklad komplexního algoritmu s vygenerovaným modelem

**Obrázek 19:** Ukázka generativního designu s využitím rekursivních algoritmů

**Obrázek 20:** Ukázka struktury vytvořené pomocí simulací a modifikací

**Obrázek 21:** Vstupy a výstupy, Arduino

**Obrázek 22:** Měření napětí na pinech 13 a 12, Arduino

**Obrázek 23:** Ukázka PWM signálu na osciloskopu, Arduino

**Obrázek 24:** PLC M-90

**Obrázek 25:** Schéma systému Bottom-up při návrhu pavilonu

**Obrázek 26:** Půdorysný rozměr segmentu Pavilonu v závislosti na velikosti a počtu balonů

**Obrázek 27:** Schéma vytvoření „klenby“ při spojení dvou segmentů

**Obrázek 28:** Finální vizualizace Pavilonu ve vyfouknutém stavu

**Obrázek 29:** Finální vizualizace Pavilonu v nafouknutém stavu

**Obrázek 30:** Finální vizualizace Pavilonu ve vyfouknutém stavu

**Obrázek 31:** Finální vizualizace Pavilonu v nafouknutém stavu

**Obrázek 32:** Půdorysná ukázka velikostí balónů při variantě 1

**Obrázek 33:** Půdorysná ukázka velikostí balónů při variantě 2

**Obrázek 34:** Půdorysná ukázka velikostí balónů při variantě 3

**Obrázek 35:** Ukázka simulace sphere packing

**Obrázek 36:** Ukázka scriptu simulace sphere packing

**Obrázek 37:** Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 130mm

**Obrázek 38:** Ukázka scriptu simulace sphere packing s koulemi o průměru 600mm

**Obrázek 39:** Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 600mm

**Obrázek 40:** Ukázka scriptu simulace sphere packing s koulemi o průměru 600 a 300mm

**Obrázek 41:** Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 600 a 300mm

**Obrázek 42:** Ukázka simulace rozpínání ve vyfouknuté poloze

**Obrázek 43:** Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze s balóny o rozměru 600mm

**Obrázek 44:** Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze s balony o rozměrech 300-600 mm a spojníkem tyčí ve výšce 1500mm

**Obrázek 45:** Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze se spojníkem tyčí ve výšce 400mm

**Obrázek 46:** Půdorysný výkres svazku 30ti tyčí

**Obrázek 47:** Půdorysný výkres svazku 30ti tyčí a jejich označení podle okruhů

**Obrázek 48:** Koruna balonů při nejdelším prostředním okruhu

**Obrázek 49:** Koruna balonů při rovnoměrné délce tyčí

**Obrázek 50:** Koruna balonů při nejvyšším okrajovém okruhu

**Obrázek 51:** Vychýlení balonů od středu segmentu

**Obrázek 52:** Analýza velikostí balonů

**Obrázek 53:** Analýza stínění pavilonu v průběhu dne

**Obrázek 54:** Kompletní Grasshopper script

**Obrázek 55:** Nepřerušená laserová brána a segment Pavilonu ve vyfouklé poloze

**Obrázek 56:** Přerušená laserová brána a segment Pavilonu v nafouknuté poloze

**Obrázek 57:** Script Firefly firmata

**Obrázek 58:** Základní konfigurace pluginu Firefly v GH

**Obrázek 59:** Příklad algoritmizace podmínky (True)

**Obrázek 60:** Příklad algoritmizace podmínky (False)

**Obrázek 61:** Schéma zapojení fotorezistoru

**Obrázek 62:** Zapojení fotorezistoru, Arduino

**Obrázek 63:** Hlavní elementy Prototypu-segmentu

**Obrázek 64:** Hlavní element Prototypu

**Obrázek 65:** Laserování podpěry balonů

**Obrázek 66:** Nastrkování podpěry balonů do kovové objímky

**Obrázek 67:** Spojník držící svazek tyčí u sebe

**Obrázek 68:** Kovový trojcípý podstavec se svařeným držákem tyčí

**Obrázek 69:** Výkres kovového trojcípeho podstavce se svařeným držákem tyčí

**Obrázek 70:** Plastové tyče zasunuté do držáku tyčí v podstavci

**Obrázek 71:** Hliníková spojka spojující pneumatickou hadici s trubicí Prototypu

**Obrázek 72:** Hliníková spojka spojující pneumatickou hadici s trubicí Prototypu upevněná objímkou

**Obrázek 73:** Návrh celkového řízení Prototypu

**Obrázek 74:** Principiální schéma pneumatického obvodu

**Obrázek 75:** Principiální schéma pneumatického obvodu

**Obrázek 76:** Ventil VUVG 5/2 cívka/cívka

**Obrázek 77:** Ventil VUVS 3/2 cívka

**Obrázek 78:** Detailní schéma pneumatického obvodu

**Obrázek 79:** Princip řízení

**Obrázek 80:** Nepřerušená laserová závora

**Obrázek 81:** Přerušená laserová závora

**Obrázek 82:** Zkušební model řízení s PLC

**Obrázek 83:** Zmáčknutí tlačítka (vyslání impulsu pro cyklus nafukování)

**Obrázek 84:** Zelená LED indikující cyklus nafukování prvního okruhu svítící po dobu času T10

**Obrázek 85:** Zelená LED indikující cyklus nafukování druhého okruhu svítící po dobu času T11

**Obrázek 86:** Červená LED indikující cyklus vyfukování prvního okruhu svítící po dobu času T13

## OBSAH

---

Seznam obrazových příloh a tabulek.....	4
1. Teoretická část.....	9
1.1. Literární rešerše.....	9
1.1.1. Historie pneumatické a kinetické architektury.....	9
1.1.2. Zmapování současnosti.....	12
1.1.3. Pasivní a aktivní koncept .....	14
1.2. Proces hledání vlastního návrhu.....	17
1.3. Obecná Analýza.....	20
1.3.1. Responzivita architektury.....	20
1.3.2. Principy kinetické architektury.....	22
1.3.3. Způsoby digitálního navrhování .....	24
1.3.4. Principy pneumatických systémů.....	29
1.3.5. Možnosti řízení.....	33
2. Praktická část.....	36
2.1. Analýza vlastního návrhu.....	36
2.1.1. Bottom-up.....	36
2.1.2. Responzivní studie .....	40
2.1.3. Simulace.....	42
2.1.4. Řízení.....	52
2.2. Konstrukce prototypu.....	56
2.2.1. Výběr elementů.....	57
2.2.2. Řídící obvody.....	62
2.2.3. Programování systému.....	69
2.2.4. Kompletace Prototypu .....	74
2.3. Možnosti budoucího rozvoje.....	79
Závěr.....	80
Seznam zdrojů.....	82
Seznam příloh.....	85

## ÚVOD

---

Lidé odjakživa touží po ulehčení každodenních činností, po zjednodušení úkonů, které dělají a také po adaptaci různých věcí okolo, na to, co jim osobně vyhovuje. V dnešní technicky pokrokové době se tyto touhy začínají velmi rychle naplňovat díky dvěma současným technologickým trendům. Těmi jsou za 1) Výkonnější, menší a finančně dostupnější senzory a mikroprocesory, a za 2) Komplexně technologický pokrok ve výzkumu materiálů a simulací chování. Lidé se přizpůsobují těmto novým technickým možnostem a ty se přizpůsobují požadavkům člověka a pomáhají jim v nespočetném množství aplikací.

V tomto smyslu nás fascinuje chování přírody, kde právě možná nejčastěji dochází k automatické adaptaci živých systémů na okolní prostředí i na různé změny v klimatu a podobně. Takovými adaptacemi jsou tyto systémy schopny přežít v neustále se měnícím světě a usnadnit si cestu za lepšími podmínkami pro život. A proto je zarážející, že v architektuře něco takového prozatím jen těžko nacházíme.

Ale i architektura by zde měla mít své místo. Představme si, že i dům se dokáže přizpůsobovat aktuálním podmínkám i potřebám stejně jako živá rostlina. Že se automaticky dokáže vyrovnat se změnami klimatu i s různými potřebami jeho obyvatel. Může se chovat jako živý funkční organismus, který se umí sám o sebe postarat. V dnešní rychlé proměnlivosti okolního prostředí je třeba více usilovat o větší životaschopnost architektury, kterou bychom měli vytvářet s dlouhodobým výhledem a myšlenkou, že za pár let může být vše jinak a budovy se musí umět přizpůsobit.

První část bakalářské práce je teoretická a pojednává o historickém a současném přístupu k experimentálním směrům v architektuře. Druhá část je praktická a zabývá se procesem realizace konkrétního responzivního Prototypu, kterou lze rozdělit do několika fází od konstrukčně-mechanického řešení, výběru vhodných materiálů a komponentů, návrhu pneumatického obvodu s elektronickým ovládáním, ověření chování jednotlivých systémů a prvků pomocí simulací až po vlastní výrobu a komplekci Prototypu.



# 1 TEORETICKÁ ČÁST

---

Teoretická část obsahuje literární rešerši, hledání vlastního návrhu a obecné analýzy s deseti podkapitolami přispívajícími k hlubšímu pochopení zvoleného tématu. Literární rešerše mapuje různé experimentální přístupy k architektuře v minulosti i v současnosti a nastiňuje kontext, ve kterém byla tato práce vytvořena a čím byla inspirována. Kapitola hledání vlastního systému se zaměřuje na samotný počátek vzniku této práce a vlivy, jež autora ovlivnily. Obecné analýzy se pak věnují obecnému vysvětlení pojmů vztahujících se k tématu práce.

## **1.1. Literární rešerše**

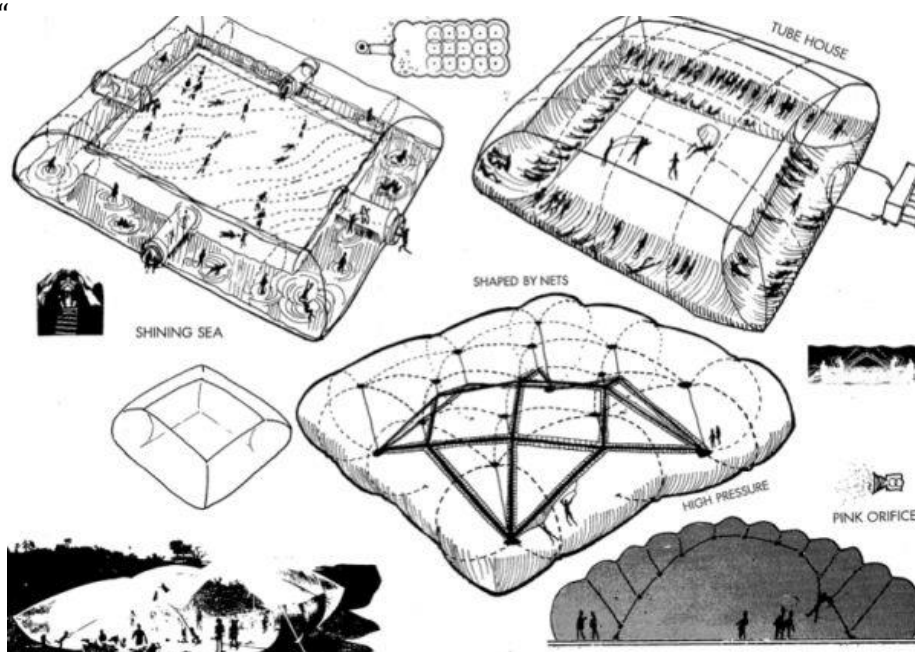
### **1.1.1. Historie pneumatické a kinetické architektury**

Už v 60. letech 20. st. se v Americe zrodily první nápady mladých architektů a studentů jak obohatit architekturu o nový „směr“ v podobě nafukovacích forem. Tyto tendence vznikaly vesměs jako protesty proti tehdejšímu modernímu stylu 60.let. Snažily se tímto způsobem kritizovat tvrdé a nekompromisní „brutalistní“ formy oproti jemným nafukovacím strukturám, které byly levné, jednoduché na převoz a nenáročné na sestavení.



Obrázek 1: Ant Farm, Inflatable, 1971

Jedním z těchto architektů byl Doug Michels, který spolu s Chip Lordem založil v roce 1968 v San Franciscu avantgardní skupinu ANT FARM. Jejich práce byly na pomezí mezi architekturou designem a mediálním uměním. Nejzajímavější částí jejich tvorby z hlediska zaměření této práce ale bylo téma nafukovacích struktur. Tyto objekty v té době byly skvělým příkladem kontrastu mezi betonovými bloky a jemně plujícími průhlednými polštáři. Typ této architektury se nedá popsat v klasické architektonické rétorice řezů a půdorysů, naopak podporuje vzdálení se od spoléhání na klasické odborné výrazy a znalosti a vytváří spíše emocionální a myšlenkový prostor. ANT FARM vydala v roce 1971 jakýsi manuál nafukovací architektury nazvaný „Inflato Cookbook“



Obrázek 2: Ant Farm, Inflato Cookbook, 1971

V manuálu poprvé popisují jednoduchou formou postupy a myšlenky své tvorby. Autoři zde například vysvětlují, jak nejefektivněji vyrobit nafukovací tvar polštáře z pásů polyethylenu, jak svařit švy i jaký je vhodný typ vzduchového agregátu.

Je zde také popisován přístup k materiálům, barvám i třeba k požární bezpečnosti. Zajímavá poznámka je, že pro polyethylen, jenž je velmi lehký materiál, se jako zdroj vzduchu více hodí větrák než kompresor. Kompresor má tendenci pouštět větší tlak o malém objemu, což není pro materiál jako polyethylen žádoucí.

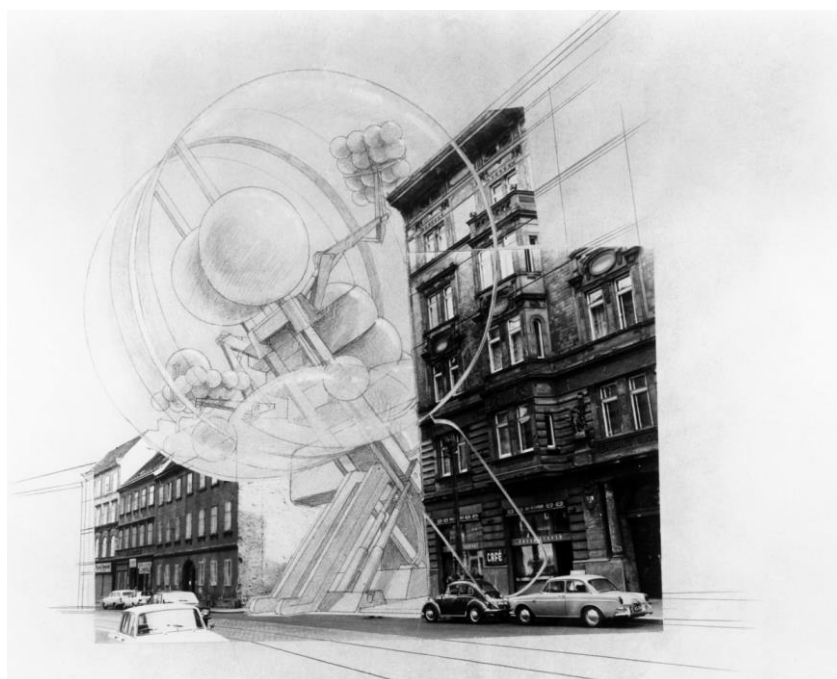
Kdybychom se podívali do Evropy, musíme zmínit dalšího významného průkopníka nafukovací architektury a to je Rakouská kancelář Coop Himmelb(l)au. Dnes je to velice významná kancelář na poli dekonstruktivistické architektury. Jejich první práce v 60.

letech ovšem začínaly také pneumatickými experimenty. Projekt Restless Sphere ve formě jakési performance se snaží vyjádřit možnosti pneumatických konstrukcí z hlediska jejich vlastností.



Obrázek 3: Coop Himmelb(l)au, Restless Sphere, 1971

Dalším projektem je Cloude 68, kde se architekti snaží zprostředkovat mrak jako organismus pro obývání. Struktura je mobilní a prostor může být upravován podle uživatele. Technika je v tomto případě jen prostředkem k dosažení cíle, ale není samoučelná, „architektura je obsah, ne povrch“.



Obrázek 4: Coop Himmelb(l)au, Cloude 68, 1968



### ***1.1.2. Zmapování současnosti***

V následující kapitole je vybráno několik současných projektů z různých architektonických škol a institutů po celém světě, které jsou zajímavé a v určitých oblastech se dotýkají problematiky této práce.

ITKE- Institute of Building Structures and Structural Design

Je jeden z předních světových institutů sídlící ve Stuttgartu v Německu zabývající se vývojem elastických kinetických systémů a udržitelných řešení v architektuře, tím, že napodobují časem prověřené modely a strategie přírody. Na začátku se vždy hledá inspirace v přírodě, v jejích principech a vlastnostech. Na základě vybraného tématu pak začíná výzkum, analýzy, simulace, měření atd. K následné fabrikaci vytvořených prototypů jsou většinou používány nové technologie, díky nimž se dají takto sofistikované struktury rychle s velkou přesností vyrobit. Jde zde většinou o jakousi demonstraci nových výrobních i materiálových technologií, které je potřeba vyvíjet dále a snažit se je v dohledné době začlenit do běžného stavebnictví.

ICD-ITKE Research Pavilion 2013-14

Tento pavilon je jedním z celé řady vyprodukovaných staveb spoluprací institutů ICD a ITKE. Pavilon byl realizován v roce 2014 a zkoumá využití kompozitních plášťů ze skelných a carbonových vláken a vývoj nových metod robotické výroby pro polymerem vyztužené samonosné struktury.



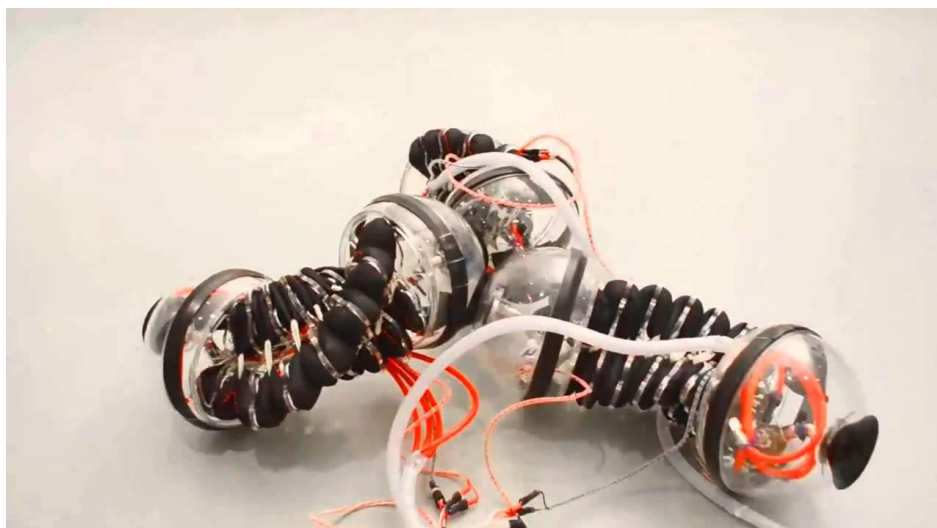
Obrázek 5: ICD-ITKE Research Pavilion 2013-14



Obrázek 6: ICD-ITKE Research Pavilion 2014-15

AADRL - Behavioural Complexity, Spyropoulos Design Lab

Architectural Association Design Research Lab je postgraduální magisterský design program na škole architektury AA v Londýně. Theodore Spyropoulos je vedoucím svého studia, zabývajícího se výzkumem robotického designu se zaměřením na integrované chování a vytváření architektury zcela autonomní a samostatně žijící. Myšlenky, jak může být architektura myslící, mobilní, samoformující a samosestavující, se v tomto studiu realizují na různých programovatelných robotických prototypech. Jde o konstrukční systémy, které mají schopnost vyvíjet své kontextové parametry prostřednictvím přímého zapojení do prostředí a zpětné vazby.



Obrázek 7: Behavioural Complexity, Spyropoulos Design Lab

### ***1.1.3 Pasivní a aktivní koncept***

Porovnejme dva základní obecné koncepty, se kterými je možné navrhovat kinetické responzivní stavby. Jsou to přístupy tzv. aktivní nebo pasivní.

Při pasivním přístupu můžeme hovořit o práci s fyzikální a chemicko-molekulární podstatou materiálu, který vytváří hlavní osnovu návrhu. Při tomto principu se zkoumají různé materiálové vlastnosti při různých podmínkách, které mohou být například roztažnost při zahřívání, průsvitnost při používání určitých chemických sloučenin nebo pružnost v závislosti na teplotě atd, s nimiž se dále pracuje a na výsledném efektu může být postaven celý koncept projektu. Není zde tedy za potřebí žádných sekundárních ovládacích sil a ani programového řízení. U těchto pasivních systémů je kontrola pohybu čistě v režii environmentálních změn.

Aktivní přístup na rozdíl od toho pasivního spoléhá na předem definované programovatelné řízení buď ve formě samotné osoby, nebo počítačového systému, které ovládají různé součásti stavby. Tento způsob je tak odkázán na mechanické zajišťování pohybu a na logickém ovládacím programu. U aktivního přístupu má uživatel absolutní kontrolu nad pohybem systému. Jako příklad lze z této aktivní oblasti uvést dnes nejvíce rozšířené fasádní prvky, jako například na budově Al-Bahar Tower.

### ***Doris Sung - Living Architecture***

Doris Sung je americká architektka, která dává ve své práci přednost pasivnímu konceptu responzivní kinetické architektury, a to v oblasti thermobimetalových struktur. Je to příklad toho, jak se dá pracovat v oblasti responzivní architektury se samou podstatou materiálu, jeho složením a základními vlastnostmi a přemýšlet, jak se dají efektivně využít.

Podle ní je klasická architektura velice statická a domy se nepřizpůsobují lidskému tělu natož lidské přirozenosti. Proto je její výzkum věnován vytváření architektury přizpůsobující se člověku. Doris Sung v rozhovorech mnohokrát přirovnává svoje struktury k vlastnostem lidské kůže. Tyto vlastnosti můžeme hledat hlavně ve schopnosti reakce na vnější teplotu a stupeň zahřátí povrchu. Principem jsou zde vlastnosti thermobimetalu, což je pevné spojení dvou plátů kovu s různou tepelnou roztažností. Při zahřívání nebo ochlazování dochází k různému rozpínání těchto kovů. V místech, kde pláty fasády dosáhnou kritické teploty, začnou se rozevírat a struktura se tak stane prodyšnou a dýchá podobně jako lidská kůže. Využití tohoto principu může být

vedle „dýchajících“ fasád i u oken staveb. Dvojitá fasáda složená ze skla a těchto bimetalových plátů automaticky reaguje na změnu oslunění a tím reguluje průnik světla do budovy při nulových energetických nákladech.



Obrázek 8: DO|SU Studio Architecture, Bloom, 2012



***Ronald Van Der Meijs***

Holandský současný umělec se ve svých instalacích zabývá lidským vztahem k okolnímu prostředí. Pracuje se zvukem, novými médii i architektonickým designem. Jeho nejzajímavějším odvětvím tvorby jsou instalace kinetických nafukovacích struktur a objektů. Je to příklad aktivního přístupu, kde umělec používá vzduchu jako médium a aktuátor k určitému typu pohybu, v tomto případě nafukování objektu. Objekt je tedy závislý na naprogramovaném systému, který ho uvede do procesu nafukování.

Je zde velmi zajímavé také přiznání estetiky pneumatických obvodů. Jednotlivé hadičky dopravující vzduch do segmentů působí jako cévní životodárný systém. Inspirativní je také samotný proces nafukování. Z rovné plochy se během chvilky stane 3D dýchající struktura, žijící objekt připomínající jakýsi vodní organismus. Čistota, jemnost a průhlednost tento pocit jen umocňují.

Důležitá je i stránka zvuková. Objekty se nafukují velice pozvolna, že není slyšet syčení vzduchu, ale naopak pouze napínající se igelit, jenž vydává jemné praskající zvuky.



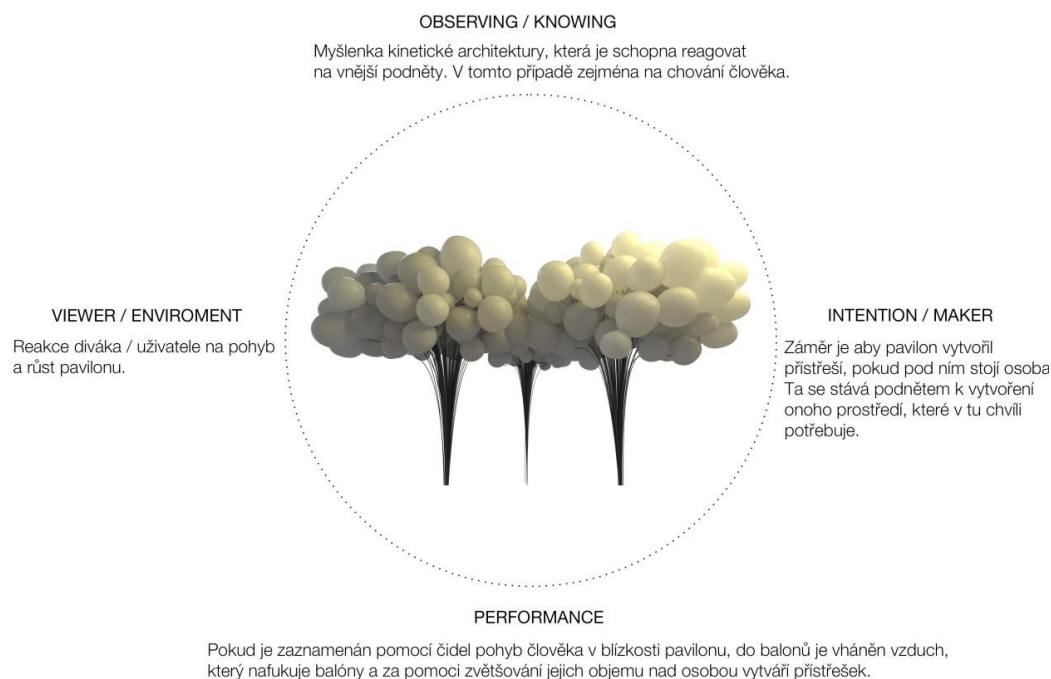
Obrázek 9: Ronald Van Der Meijs, Capsule of Life, 2013



## 1.2. Proces hledání vlastního návrhu

Startovacím impulsem pro tuto práci byla účast na dvoudílném architektonickém workshopu PAVILON 1 pod vedením architektů Samana Saffariana a Gala Moncayo-Asana. Workshop se zabýval návrhem interaktivní stavby - pavilonu ve veřejném prostoru a byl zaměřen na adaptivní strategie – navrhování, projektování a řízení reaktivních architektonických systémů.

Samotný návrh vznikl během první fáze tohoto workshopu a byl vybrán pro následnou realizaci. Cílem bylo vymyslet takovou interaktivní stavbu, která by splňovala vlastnosti responzivity současně s kinetickým aspektem: tedy aby pohybově reagovala na vnější podněty jako například na pohyb člověka či klimatické změny.



Obrázek 10: Schéma konceptu návrhu

V tomto projektu se uplatňuje zejména tzv. aktivní princip responzivního chování, jehož podstata spočívá v použití aktuátorů a celkově programovatelného řízení k vytvoření kinetických a responzivních systémů. V tomto konkrétním případě je systém navržen tak, že i když používá aktivní princip řízení následný efekt je do jisté míry a je výsledkem komplexní interakce materiálových a fyzikálních parametrů. Formální výsledek tedy není vždy stejný i při stejných parametrech řízení, ale spoléhá na jaký si typ samoorganizace.

Využíváme zde principu řízeného média, které ovlivňuje rozměry a tvar jednotlivých prvků systému. Jako médium používáme stlačený vzduchu, který je ovládán pneumatickým obvodem. Tento aktivní princip můžeme v tomto případě popsat jako tzv. Soft systém, neboť zde nejsou použity mechanické dílce k ovládání, není tak zcela možné říci, zda jde o pohyb lineární rotační či jiný. Jedná se spíše o elastický, jemný pohyb v různých směrech. Základním prvkem našeho designu jsou nafukovací latexové balóny, u kterých využíváme vlastností elastického materiálu při interakci s přivedeným vzduchem. Balony jsou organizovány do skupiny, kde se při aktivaci média mění jejich rozměry a navzájem se ovlivňují a uvádějí do pohybu.

Pneumatický prvek je zde použit jako samotná podstata designu, zatím co ve většině ostatních responzivních projektů je použit pouze jako aktuátor pohybu jiného mechanického prvku tvořícího výsledný design.

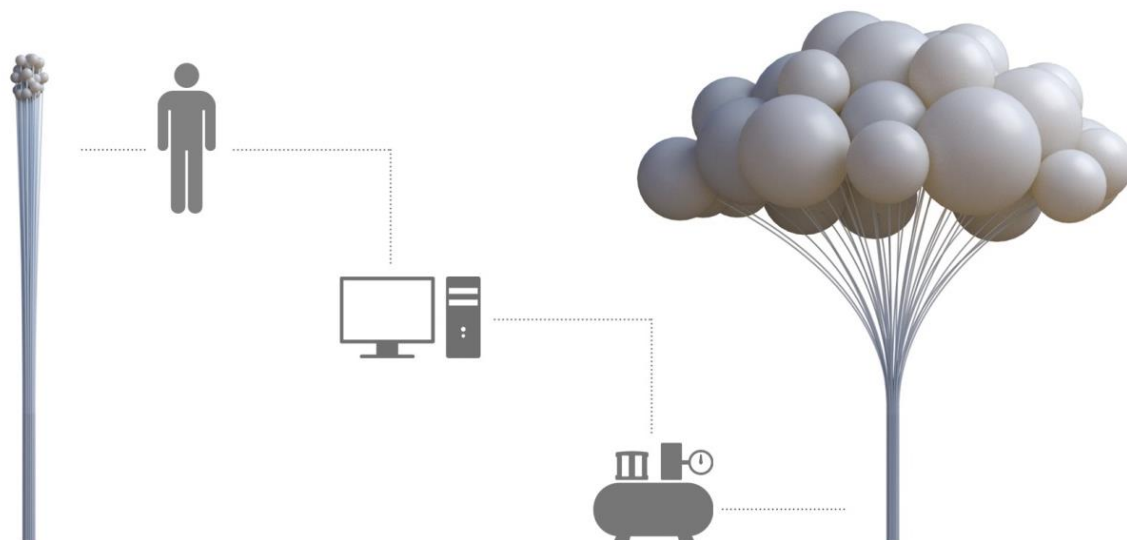
Samotná responzivita navrženého objektu je interpretována snímáním pohybu osob v okolním prostoru. V případě, že čidla nezaznamenají pohyb osob, pavilon zůstane ve vyfouknutém stavu, ale v případě, že do definovaného prostoru člověk vstoupí, začne se objekt nafukovat a vytvářet pohyblivou strukturu. Díky tomu Pavilon prakticky neexistuje, pokud není obýván, nic nám tedy potom nebrání například ve výhledu do krajiny ani nepřekáží ve volném pohybu. V tomto smyslu tedy musí existovat jakási symbioza mezi člověkem a objektem, které se navzájem ideálně ovlivňují. Pokud se Pavilon nafoukne do konečného stádia, vytvoří tak příjemné zázemí například při nepřízní počasí. Samozřejmě je diskutabilní, jestli konečná podoba objektu, vzhledem ke složitosti všech aspektů návrhu a řízení, je opodstatněná pokud bychom se bavili čistě o funkčnost. Jde zde spíše o estetiku, samoorganizaci a vytvoření paralelního systému, který se může srovnávat s klasickým, předvídatelným, mechanickým deštníkem. Zajímá nás reakce uživatele na pohyb a na samotný proces rozrůstání koruny. Chceme, aby tento pavilon svými netradičními funkcemi přitahoval lidi a sloužil jako dokonalé příjemné a lehké odpočinkové místo a také jako manifest tohoto typu architektury.

Termín Pavilon je v této práci používán pro označení celkového návrhu. Tedy návrhu, jenž zobrazuje komplexní uspořádání dílčích segmentů do skupiny „Pavilonu“.

Prototypem se označuje jeden finálně zkonstruovaný segment Pavilonu.

Zajímavé na tomto projektu je velice silné propojení mezi návrhem a technickou realizací. Je zapotřebí vymyslet spoustu technických detailů, které by byly neodhaleny, pokud by návrh zůstal pouze ve virtuálním prostředí počítače.

Prvotním cílem této práce je vytvořit funkční prototyp jednoho segmentu Pavilonu, najít správné materiály pro stavbu, ověřit jejich fyzikální vlastnosti, navrhnout pneumatický obvod, který ho bude zásobovat vzduchem, a v neposlední řadě navrhnout program, který jej bude ovládat.



Obrázek 11: Základní schéma konceptu

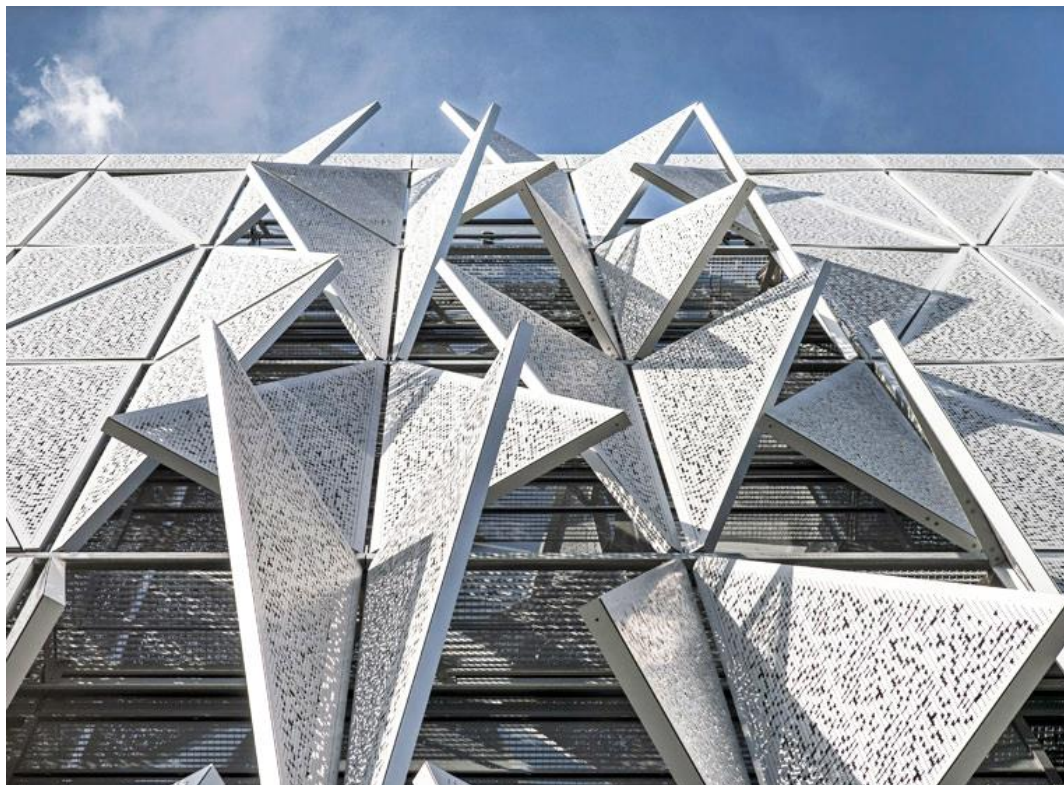
### **1.3. Obecná Analýza**

#### **1.3.1 Responzivita architektury**

Každá budova je v některých svých aspektech pasivní a statická zároveň, ale také je živým organismem, jehož tvar, propustnost materiálů, účelovost se mohou adaptovat na neočekávané změny životního prostředí i obyvatel.

Responzivita v architektuře je určitá disciplína, v níž se architekti snaží tyto vlastnosti budov rozvíjet s aspektem k energetické i vizuálně-komunikativní stránce a reflektovat určitou technickou pokročilost současnosti. Moderní technologie umožňují tomuto směru architektury vyvíjet systémy hmatatelně se odlišující od těch klasických. A budovy lze dnes lépe konstruovat z hlediska lepšího adaptování na okolní prostředí i na potřeby lidí. Dokáží efektivně měnit svou formu i funkci na základě měřených hodnot z okolí. Pro člověka jako živou bytost je nezbytné udržovat některé vlastnosti životního prostředí stabilně a kontinuálně. Jednou z vlastností může být například potřeba udržovat relativně konstantní teplotu a stabilní podmínky vnitřního prostředí budovy nebo jejího okolí. A právě v udržování těchto stabilních podmínek se může objevit první ze základních responzivních aplikací. Zajištění výměny vzduchu, nepropustnost či propustnost světla i stabilní teplotní podmínky atd. I když je potřeba udržet stabilní prostředí, je k tomu možné využít responzivní aplikace.

Obecný pojem „Responzivní architektura“ byl v roce 1960 představen vizionářem Nicholas Negropontem, který navrhoval, aby pokrok v umělé inteligenci a miniaturizaci prvků byl využit k vytvoření budov inteligentně uznávajících činnost uživatelů, a reagoval na ně. Negroponte říká, že responzivní architektura je přírodním produktem integrace matematické síly do vybudovaných prostor a struktur. Tuto myšlenku se snaží rozvinout tak, aby responzivní odezva a její úspěšné začlenění do architektury vycházely z pojmů jako jsou rozpoznání, myšlení, adaptace a variace konceptů. I když počítač jako takový neměl příliš velký dopad na zastavěné prostředí, jak by si Negroponte přál, automatizované stavební prvky se staly samozřejmostí a jsou často integrovány do fasádních i jiných systémů, jako například nástroj pro snížení spotřeby energie. Můžeme uvést příklad automatizovaného stínění, které snižuje chladící zatížení budovy vlivem slunečního záření. A v neposlední řadě třeba stmívatelné osvětlení, které reaguje na foto senzory, čímž se snižuje jejich jas, když to není potřeba. V tomto smyslu se responzivita stala každodenní součástí našich životů.



Obrázek 12: University of Southern Denmark Kolding Campus, Henning Larsen Architects, 2015



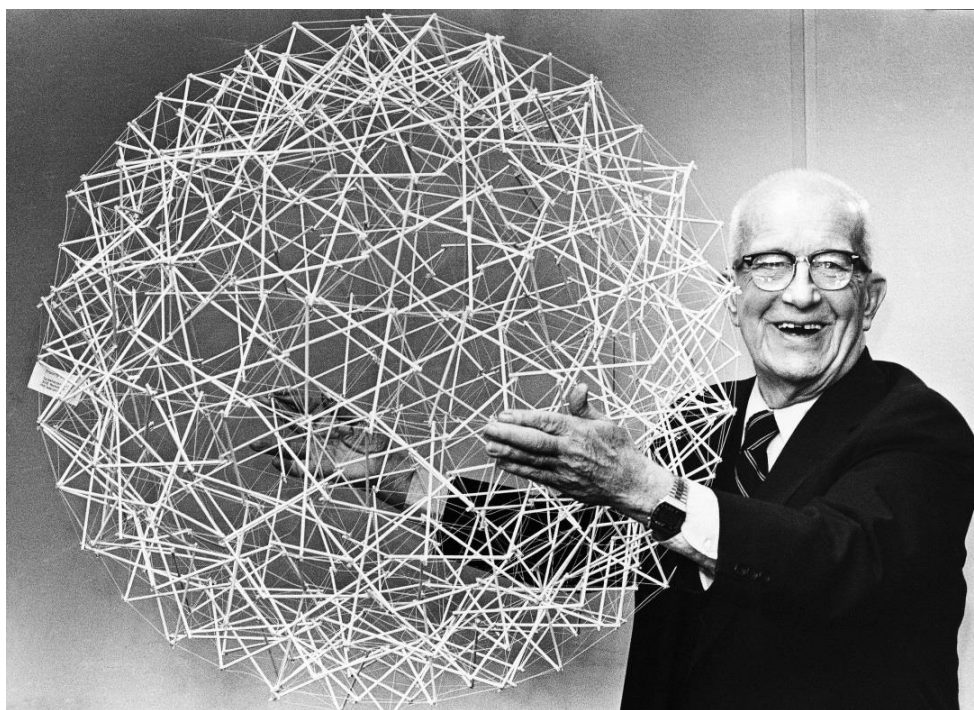
### 1.3.2. Kinetická architektura

Kinetika je velmi spojená s již popisovanou responzivní architekturou. Aby mohlo něco reagovat, jsou potřeba různé formy pohybu. V zásadě jde o koncept, kde jsou budovy navrhovány tak, aby se jednotlivé části konstrukce mohly pohybovat, aniž by se snížila celková strukturální integrita stavby.

Kinetika neboli pohyb může být v budově využit ve spojení s responzivitou k vylepšení estetické hodnoty, k reakci na podmínky ve vnějším nebo vnitřním prostředí a také k provádění funkcí, které by nebyly možné u statických struktur.

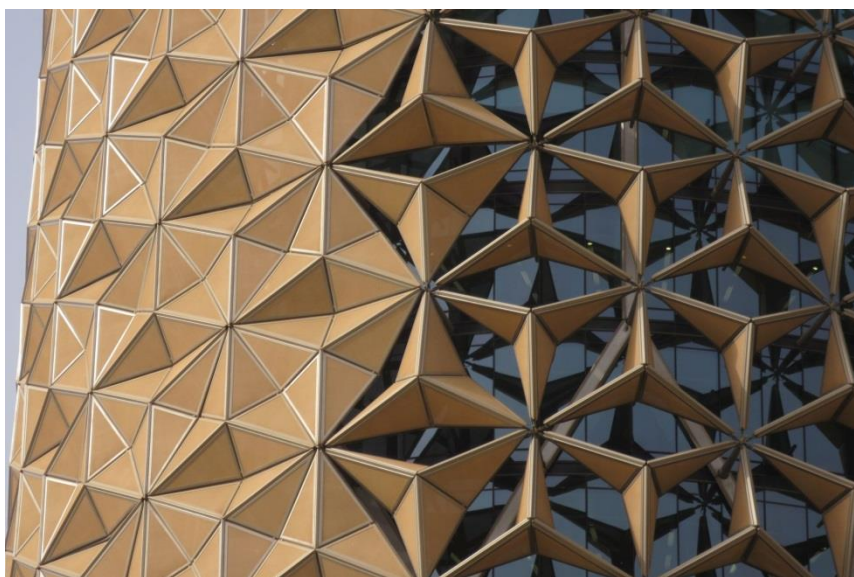
Úplně jednoduché formy kinetických prvků v architektuře, jako například padací mosty, můžeme pozorovat již od středověku.

Velký objev kinetiky a široká diskuze o ní začala ovšem až na začátku 20. století, kdy se v její první třetině probudil větší zájem o tento směr v architektuře díky myšlenkovým postojům futuristů a později konstruktivistů. Například Iakov Chernikhov se ve své knize „101 architektonických fantazií“ této tematiky pohybu v architektuře často dotýká. V těchto letech šlo zatím pouze o vizionářská a teoretická pojednání, zatímco ve 40. letech 20. století se již můžeme setkat s prvními konkrétními implementacemi těchto vizí. Buckminster Fuller je jedním z těch, kteří se začali pokoušet tyto vize aplikovat do reálných prototypů. Jeho vývoj a aplikace tzv. tensegritů v architektuře je jedním z prvních pokusů využití kinetických principů pro stavbu nových konstrukcí.



Obrázek 13: Tensegrity, Buckminster Fuller, 1978

Díky nejenom jeho převratným koncepcím se další generace architektů snažily inspirovat a vyvíjet na těchto základech stále nová řešení. Jako například Architekt Jose Leonidas Mejia, který přišel o 30 let později s radikálním řešením v projektu „The Arkinetic House“. Ten zkoumá nové pojetí domu, který dokáže přemísťovat svoje konstrukční prvky ve všech možných směrech. Jednou z nejnovějších aplikací kinetické koncepce je fasádní plášť budovy Al-Bahar v Dubai, který dokáže pohybovat svými jednotlivými prvky a měnit tak úroveň zastínění interiéru.



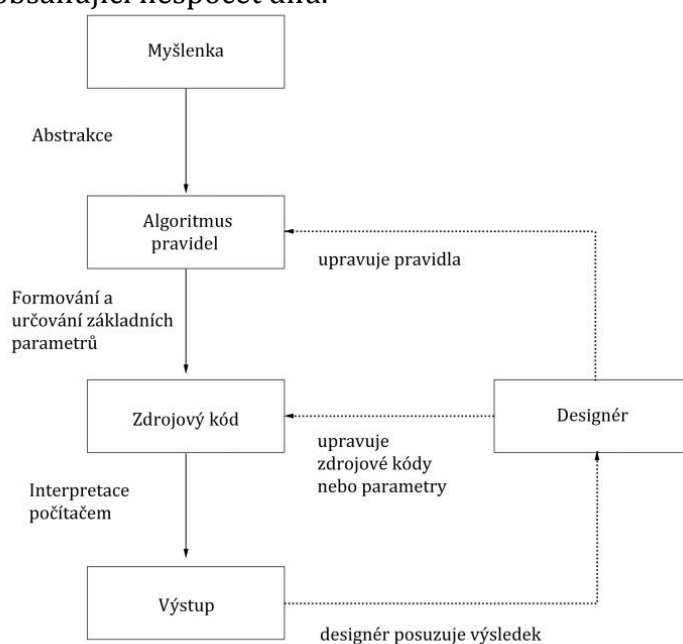
Obrázek 14: Al-Bahar Tower- Dubai, 2012

### 1.3.3. Způsoby digitálního navrhování

Skoro každý architekt nebo designer dnes používá počítač. Ať už jde o modelování, psaní textu nebo rýsování výkresů. Znalost softwaru se dnes vyrovnává znalostem o konstrukcích, stavebních materiálech atd.

Jak se nástroje stávají lepšími a sofistikovanějšími, musíme i my rozvíjet naše metody práce, abychom drželi krok s oborem a zároveň si dokázali ulehčit práci.

Všechny způsoby digitálního navrhování, které zde budu popisovat, jsou vesměs aplikace matematických výpočetních strategií do procesu navrhování. I když designéři a architekti jsou zvyklí spíše spoléhat na svoji intuici a znalosti konstrukčních i jiných řešení. Softwarové systémy si kladou za cíl přenést problémy do programovacího jazyka a přesněji a rychleji je pomocí výpočetní síly vyřešit. Člověk si tedy jako designér zachovává svojí polohu v rozhodování a vkládání vlastních myšlenek. Software mu ale pomáhá v řešení jednoduchých i komplexních problémů a otevírá úplně nové možnosti designu. Díky nim můžeme pracovat mnohem rychleji a s daleko větším rozsahem i měřítkem než bez nich. Můžeme například řešit návrh jednotlivých prvků domu jako fasádních komponentů, jednotlivých funkcí atd., ale zároveň také velké komplexní struktury jako urbanistické plány měst. A to vše v jednom programu. Můžeme se také rychle přesvědčit, zda je náš návrh vůbec ve skutečnosti reálný, díky možnostem například rychlé analýzy a v případě potřeby ho v průběhu vývoje různě upravovat. Případně lze vytvořit velice rychle přípravu pro výrobu a to i v případě, že se jedná o složitou strukturu obsahující nespočet dílů.



Obrázek 15: Základní schéma přístupu k digitálnímu navrhování



Existuje několik základních způsobů digitálního navrhování

Algoritmický design

Parametrický design

Generativní design

Computational design

### **Algoritmický design**

Algoritmy se v zásadě v různých podobách prolínají všemi zmíněnými oblastmi.

Samotný algoritmus můžeme zjednodušeně popsat jako přesný návod nebo postup pro řešení daného typu úloh. Pro ještě větší přiblížení ho můžeme popsat jako recept při vaření. Skládá se z jednotlivých ingrediencí, které po správném spojení vytvoří výsledný produkt.

Jednou ze zásadních vlastností algoritmu je jeho konečnost. Každý algoritmus musí skončit v určitém konečném počtu kroků. Počet kroků se může lišit podle rozsahu vstupních údajů, ale pro každý jednotlivý vstup musí být konečný. Další vlastností algoritmu je, že neřeší pouze jeden konkrétní problém, ale jakousi obecnou množinu podobných problémů jdoucích za sebou. Každý krok algoritmu musí být jasný a přesně definovaný, co a jak se má v každém kroku provést. Algoritmus má vždy několik možných vstupů a minimálně jeden výstup, což je veličina v požadovaném vztahu k zadaným vstupům, tedy odpověď na problém, který řeší.

Metody k sestavování algoritmů mohou být různé. Dva hlavní můžou být metody Shora dolů a Zdola nahoru. Shora dolů znamená postupné rozkládání problému na jednodušší a jednodušší operace, dokud nedojdeme k elementárním krokům. Metoda Zdola nahoru je nejvíce používaná i v této práci a znamená začínat elementárními kroky a pomocí nich vytvářet komplexnější, jimiž je možné vyřešit daný problém.

Nejvíce využívaným způsobem programování je popis vlastního algoritmu s využitím programovacích jazyků jako kódu například pomocí Javascriptu, Pythonu, Visualbasicu. V poslední době se stále více začínají uplatňovat grafická programovací prostředí využívající tzv. funkčních bloků.

## Parametrický design

Jde o systém algoritmického modelování, umožňující na základě sestaveného scriptu generování architektonických forem a zadávání i úpravu parametrů v reálném čase, kterými je možné kdykoliv plně konfigurovat konstrukci a design modelu. Každá změna v parametru je vždy hned přepočítána a znovu vykreslena. Samotný termín parametricky pochází z matematického vyjádření parametrické rovnice. To je vyjádření pro použití různých parametrů a proměnných, které mohou být upraveny tak, aby měnili konečný výsledek rovnice.

Tento termín se zdá být spojován pouze s velkým nástupem digitalizace, ovšem principy parametrizace už používal například architekt Antonio Gaudí na začátku 20.st. Ten používal analogové modely k vytvoření modelu kostelového prostoru. Pro kostel Colonia Guell vytvořil model z visících provazů s kuličkami na konci, aby znázornil vizuální náhled klenutých stropů a kleneb. Úpravou polohy závaží a délky provazů mohl změnit tvar každého z oblouků a kleneb a hned vidět, jak se tato změna projevila v celku. Položením zrcadel dospod modelu vytvořil náhled, jak by kostel vypadal pohledem vzhůru.

Změnou jednotlivých parametrů mohl Gaudí generovat několik různých verzí, avšak na tom samém modelu a bez složitého vypočítávání matematických rovnic si mohl ověřit správnost svého designu.



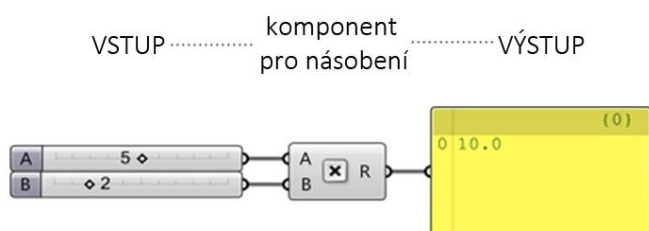
Obrázek 16: Antoni Gaudí, parametrický model Colonia Guell, 1898

Dnes je jedním z nejpoužívanějších digitálních parametrických programů zásuvný modul pro Rhinoceros „Grasshopper“.

Tento software v principu využívá parametrických a algoritmických přístupů pro jasné definování instrukcí. Grasshopper poskytuje uživatelům přívětivé prostředí těchto definovaných instrukcí ve formě již zmíněných funkčních bloků umožňující jejich skládání do řady jako vizuální algoritmus. Na základě takto sestaveného scriptu je pak generován samotný model.

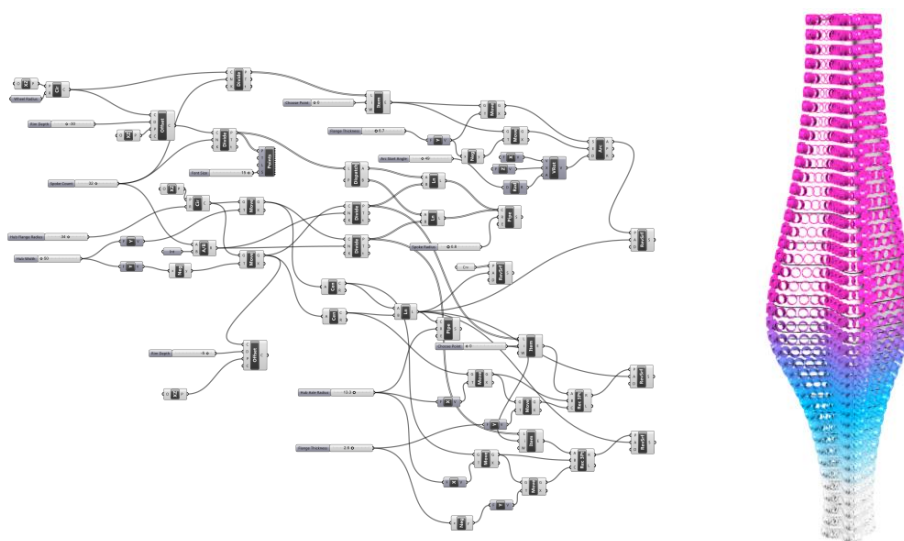
Proto je nezbytné vysvětlit základy těchto funkčních bloků- komponentů. Většina z nich pracuje s daty, což znamená, že tyto komponenty očekávají přesně definovaný soubor vstupních dat, které jsou komponentem zpracovávány pro vytvoření výstupu.

Na obrázku vidíme komponent pro násobení se dvěma vstupy a jedním výstupem. Po zapojení vstupů A s hodnotou 5 a B s hodnotou 2 a provedení násobení vidíme, že výsledek je 10.



Obrázek 17: Základní znázornění funkce komponentu násobení v GH

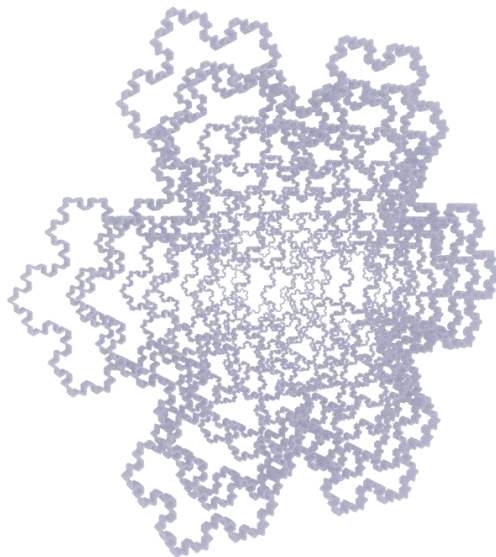
V případě připojování dalších bloků vzniká komplexní algoritmus, generující složitější objekty a struktury s možností ovládání každého jednotlivého parametru.



Obrázek 18: Příklad komplexního algoritmu s vygenerovaným modelem

### Generativní design

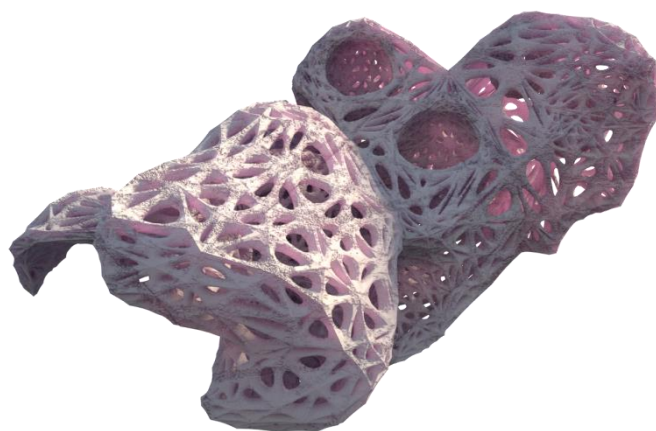
Generativní design využívá také algoritmy, které definují posloupnost a definici funkce nebo funkčních forem. Jaká forma vznikne ale nevíme, můžeme pouze upravovat genetiku kódu k modifikaci vizuálního tvaru.



Obrázek 19: Ukázka generativního designu s využitím rekurzivních algoritmů

### Computational design

U toho způsobu také nejsou tvary a konstrukce přímo definovány, ale vznikají výsledkem určité formy výpočtu nebo simulace. Dopředu tedy víme, čeho chceme dosáhnout a podle toho nastavujeme parametry těchto simulací.



Obrázek 20: Ukázka struktury vytvořené pomocí simulací a modifierů

### **1.3.4. Principy pneumatických systémů**

#### **Pneumatická systémy dělené podle funkce:**

- a) Systémy, které zajišťují dodávku vzduchu do objektu, t.j. nejvíce používané vzduchotechnické systémy.
- b) Systémy, které pomocí pneumatiky ovlivňují samotnou podobu nebo vlastnosti stavby, mohou být pouze aktuátory pohybu, ale také mohou být primárním vizuálním a funkčním prvkem. Mezi ně patří v současné době především prvky fasád.

#### **Pneumatické systémy dělené podle zdroje vzduchu:**

##### **a) Ventilátorové pneumatické systémy:**

Systémy využívající jako zdroje vzduchu ventilátory, které lze rozdělit na radiální a axiální. Radiální ventilátory jsou vybaveny lopatkovým kolem, axiální ventilátory využívají pro generování toku vzduchu vrtuli.

Základní vlastností pneumatických systémů využívajících ventilátorů je generování velkého objemu vzduchu s relativně malým přetlakem. Množství vzduch bývá v řádu tisíců m<sup>3</sup>/h a přetlak ve stovkách pascalů. Tyto jejich základní vlastnosti předurčují, kde lze využít tento princip. Jsou to většinou lehké, velkoobjemové instalace s malou dynamikou, jako jsou například nafukované stěny a podobně.

Vedle vlastního ventilátoru jsou součástí pneumatického systému také různé klapky a vzduchové kanály, které usměrňují tok vzduchu do požadovaných míst. Značnou nevýhodou ventilátorových systémů je to, že je nutné, aby byl ventilátor stále v provozu. Dalším nepříznivým faktem je, že je omezen způsob řízení těchto systémů. Při výběru vhodného typu ventilátoru musíme vedle výkonových a tlakových parametrů posuzovat také jeho hlučnost, rozměry a možné vibrace.

##### **b) Systémy stlačeného vzduchu:**

Zdrojem stlačeného vzduchu je kompresor, který tvoří základní stavební prvek těchto systémů. Kompresory dělíme na pístové a šroubové. Výkonově je na trhu nepřehledná nabídka kompresorů od výkonu několika stovek l/h až po tisíce m<sup>3</sup>/h vzduchu.

Pneumatické systémy používané v architektuře na principu stlačeného vzduchu vystačí převážně s přetlakem do několika málo stovek kPa. Nezbytnou součástí těchto pneumatických systémů jsou další pneumatické prvky, které umožní dokonale ovládat

vlastnosti těchto systémů, jako jsou například tlak, průtočná množství, časování a okruhy plnění a vyprazdňování.

Pro realizaci funkčního prototypu tohoto Pavilonu byl navržen pneumatický systém se stlačeným vzduchem.

Základní prvky pneumatického obvodu se značením:

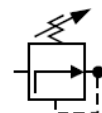
kompresor - zdroj stlačeného vzduchu



akumulační nádrž - zásobník stlačeného vzduchu



redukční ventil - nastavení základního pracovního tlaku



mazací jednotka - zajištění přimazávání ventilů

filtr - pohlcovač nečistot ve vzduchu

manometr - měřič tlaku



elektropneumatický ventil - otevření a uzavření cesty stlačeného vzduchu



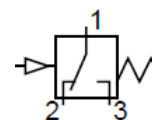
škrtkový ventil - nastavení rychlosti plnění a vyprazdňování



zpětný ventil - umožňuje pouze průtok vzduchu jedním směrem



tlakový spínač - při dosažení nastaveného tlaku je možné aktivovat další funkce



snímač tlaku - dovoluje nastavit rozsah povoleného pracovního tlaku

šroubení a redukce

hadice

Na českém trhu s pneumatickými prvky mají největší zastoupení německá firma FESTO GmbH a japonská firma SMC Automation Co., které nabízejí nepřebernou škálu pneumatických prvků pro všechny možné aplikace.

Při návrhu vlastního pneumatického obvodu k Pavilonu se musí zvažovat tato základní hlediska :

- potřebný objem plnění a vyprazdňování
- povolený rozsah pracovního tlaku
- požadovaná průtočná množství
- rychlost plnění a vyprazdňování zapojených objektů
- počet ovládaných okruhů
- časování funkcí
- napájecí napětí použitých prvků, většinou 24 V DC

### **Možnosti řízení pneumatických systémů:**

Řízení ventilátorových systémů:

Pro řízení množství ventilátorového vzduchu se u ventilátorů vybavených asynchronním elektromotorem využívá frekvenčních měničů, ventilátory vybavené stejnosměrnými motory lze regulovat klasickými elektronickými regulátory. Pro regulaci množství a cesty vzduchu se používají regulační klapky se servopohony buď v dvoustavové t.j. otevřeno-zavřeno, nebo proporcionální s plynule měnitelným průtokem.

Řízení systémů se stlačeným vzduchem:

Základními řídicími a ovládacími prvky pneumatického obvodu se stlačeným vzduchem jsou většinou elektropneumatické rozvaděče, které se vyrábějí v celé řadě modifikací podle požadované funkce, způsobu ovládání, světlosti potrubí atd. Prvky navržené v pneumatickém obvodu umožňují volbu trasy média, řízení rychlosti reakce v jednotlivých větvích obvodu podle vnějších podnětů (například čidel), časování spouštění, spouštění pracovních cyklů podle předem zvoleného algoritmu.

K řízení všech funkcí ventilátorových systému a systémů se stlačeným vzduchem je možné využít v nejjednodušších aplikacích mikroprocesorové stavebnice, jako například

Arduino, pro složitější systémy se většinou vyžívají průmyslové řídicí systémy, jejichž základem ve většině případů bývá programovatelný automat ( PLC ) nebo průmyslové PC (PPC) s periferními moduly ( vstupy/výstupy ).

Nezbytnou součástí řízení je programové vybavení, jehož algoritmus může být napsán v některém ze čtyř programovacích jazyků:

- jazyk memokódů, někdy také nazýván „Instructions List“, „IL“, v německé terminologii „AWL“ je obdobou assembleru u počítačů, a je také strojově orientován.

- jazyk kontaktních (reléových) schémat „Ladder Diagram“, „LD“, německy „Kontaktplan“, „KOP“ je grafický. Program se základními logickými operacemi zobrazuje schéma ve formě obvyklé pro kreslení schémat při práci s reléovými a kontaktními prvky.

- jazyk logických schémat, jazyk funkčních bloků, „Function Block Diagram“, německy „FUP“ je opět grafický. Základní logické operace popisuje obdélníkovými značkami.

- jazyk strukturovaného textu je obdobou vyšších programovacích jazyků pro PC (např. Pascal nebo C). Umožňuje úsporný a názorný zápis algoritmů.

Nejběžnějšími programovatelnými automaty u nás jsou PLC od firmy SIEMENS, SIMATIC řady S7 - 1200, 1500, 200, 300 a 400, dalšími hojně zastoupenými značkami na našem trhu jsou PLC od firem Mitsubishi, OMRON, ABB, Allen Bradley a další.

Senzory:

Senzory jsou technická zařízení určená k tomu, aby pneumatické systémy mohly reagovat na vlivy a změny vlastností okolního prostředí pneumatického systému.

Z nejvíce používaných snímačů jsou k dispozici tyto druhy:

- snímač teploty
- snímač okolní vlhkosti
- snímač dešťový
- snímač slunečního svitu
- snímač přítomnosti - optický reflexní / difusní
- snímač pohybový PIR
- snímač barev
- snímač akustický



### 1.3.5. Možnosti řízení

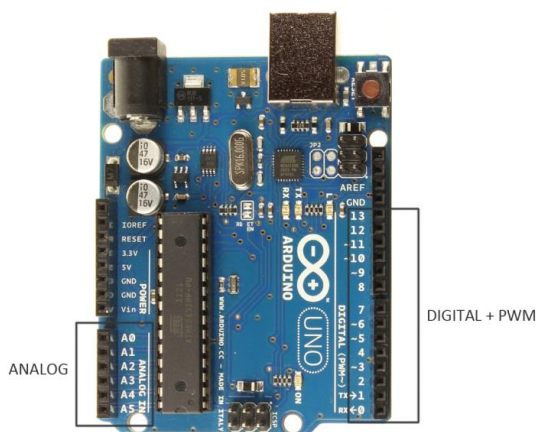
Řízení můžeme obecně definovat jako schopnost ovládání určitého systému podle definovaného algoritmu za pomoci externích zařízení.

Jedním ze snadno dostupných prostředků na řízení a ovládání je například stavebnice Arduino.

Programovatelný jednodeskový počítač založený na mikrokontrolerech ATmega byl navržen v Itálii a je určený právě pro studenty a výuku programování.

Je to otevřená platforma disponující volně šířitelným vývojovým prostředím, ve kterém je možné napsat vlastní program, podobně jako je tomu u již zmíněného processingu.

K Arduino se dají připojovat vstupní i výstupní periferie, jako jsou různá čidla, spínače, senzory i krokové motory atd. K tomu slouží několik připojovacích bodů (pinů), na které můžeme pomocí kabelů připojit tyto periferie. Vstupy/Výstupy se rozdělují na analogové, digitální a PWM (pulzně šířková modulace) .



Obrázek 21: Vstupy a výstupy, Arduino

Rozdíl mezi analogovým a digitálním pinem je v tom, že digitální pin je Arduinem interpretován pomocí dvou logických hodnot HIGH , LOW, (TRUE, FALSE), často také matematicky označovaná jako logická 0 a 1. Doslova to znamená, že logická 1 je reprezentována napětím blízkým se napájecímu, což je u Arduina UNO 5V. Logická 0 se naopak blíží napětí nulovému.

Tento stav můžeme vidět v následujícím příkladu. Po připojení kabelů na port 13 a port 12 a nahrání programu pomocí USB do desky, viz obrázek níže, můžeme pozorovat na voltmetru 4.98 V na pinu 13 a 0.01 V na pinu 12.

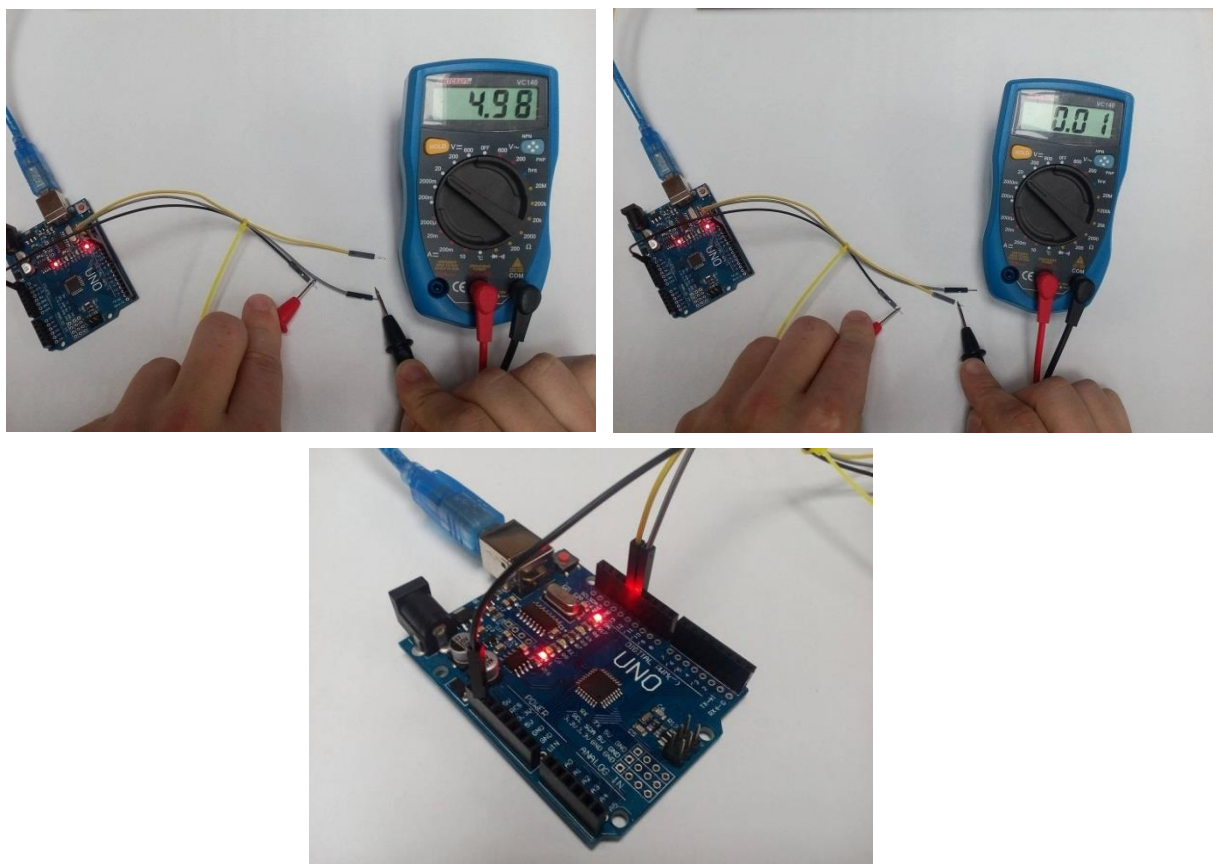
```

void setup() {
  pinMode(12, OUTPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);

  digitalWrite(12, LOW);
  digitalWrite(13, HIGH);
}

void loop() {
}

```



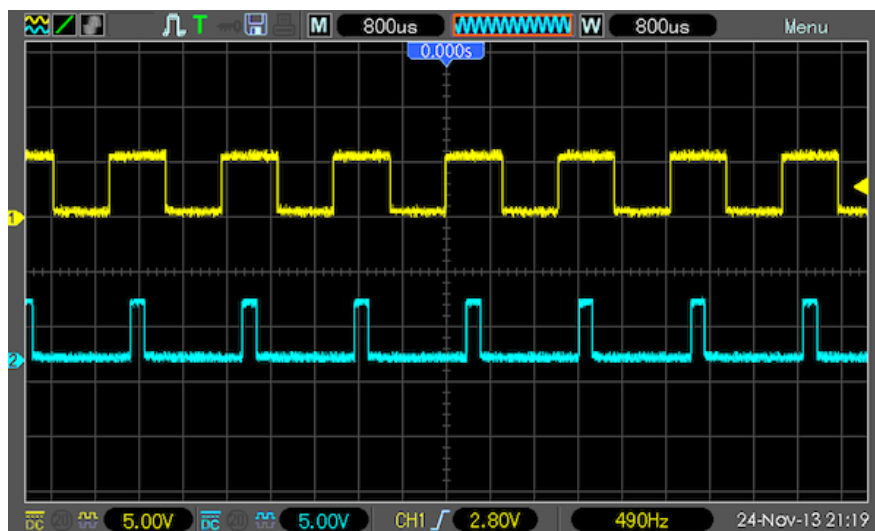
Obrázek 22: Měření napětí na pinech 13 a 12, Arduino

Analogové vstupy na pinech označených písmenem A na rozdíl od digitálních dokáží převést analogový signál snímačů v rozsahu 0 až 5 V na digitální číslo (v zápisu int) a dále s ním pracovat.

Může to být například vstupní signál od fotoresistoru, snímače teploty, snímače vlhkosti atd.

Ten můžeme použít jako vstupní parametr definující například rádius zvoleného objektu.

PWM (pulzně šířková modulace) je analogový výstup s pravoúhlými impulsy s proměnlivou šířkou pulsu. Pomocí funkce `analogWrite()` se dá tato šířka pulsu měnit a tím například zpomalovat nebo zrychlovat otáčky servomotoru.



Obrázek 23: Ukázka PWM signálu na osciloskopu, Arduino

### PLC – Programovatelný logický automat

Je to vyšší stupeň řízení, určený pro strojovou průmyslovou automatizaci a komerční využití.

Disponuje analogovými vstupy, digitálními vstupy a reléovými výstupy, které jsou uzpůsobeny přímo na napojení technologických procesů. Je možné ho naprogramovat několika programovacími jazyky, jako jsou již zmíněné AWL, LD a FU. Obsahuje také display i klávesnici, jejichž funkce se také dají naprogramovat.

PLC se programuje ve vývojovém prostředí, které obsahuje nespočet editačních nástrojů pro usnadnění programování.



Obrázek 24: PLC M-90

## 2 PRAKTICKÁ ČÁST

---

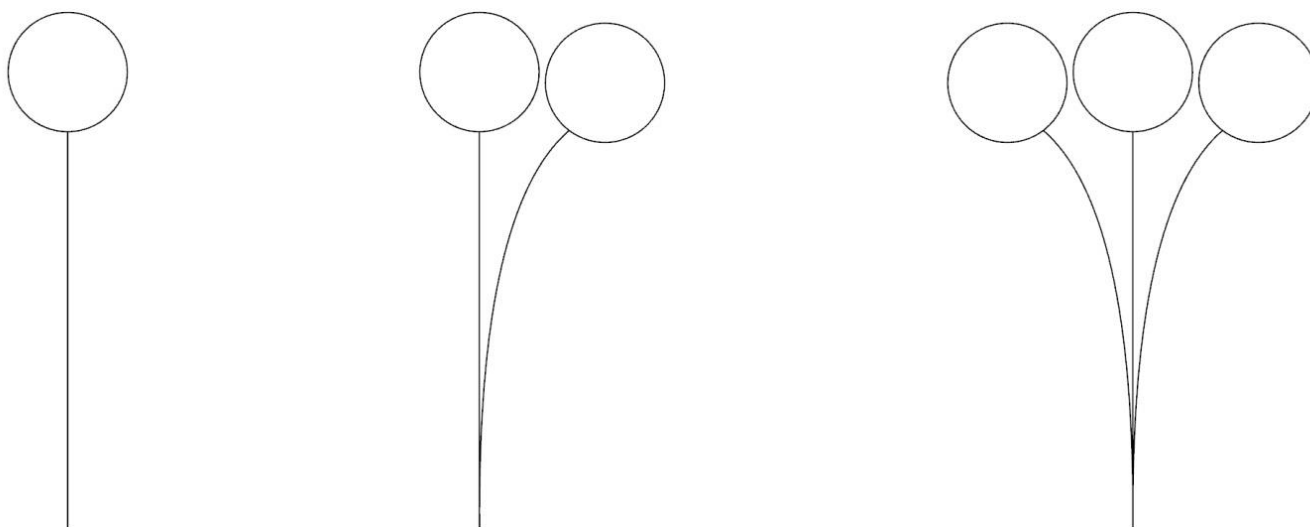
Praktická část obsahuje analýzu vlastního návrhu, konstrukci prototypu a možnosti budoucího rozvoje s dalšími osmi podkapitolami přispívajícími k detailnímu pochopení tohoto konkrétního návrhu. Analýza vlastního návrhu vysvětluje všechny kroky vedoucí k samotnému návrhu od začátků designu přes počítačové simulace až po samotné zkoušky řízení. Konstrukce prototypu potom mapuje každý jednotlivý prvek výsledného prototypu, popisuje použité řešení a materiály včetně pneumatických obvodů a elektronického řízení. Možnosti budoucího rozvoje potom ukazují další možné způsoby rozvíjení principu této práce v jiných formách s možným hlubším zaměřením na určité aspekty celkového designu.

### 2.1. Analýza vlastního návrhu

#### 2.1.1. Bottom-up

Pavilon byl navrhován systémem Bottom-up neboli odspodu nahoru, jehož princip spočívá ve výběru základních elementů a vlastností získaných například z rešerší a výzkumů a následném přizpůsobování výsledného designu těmto vlastnostem.

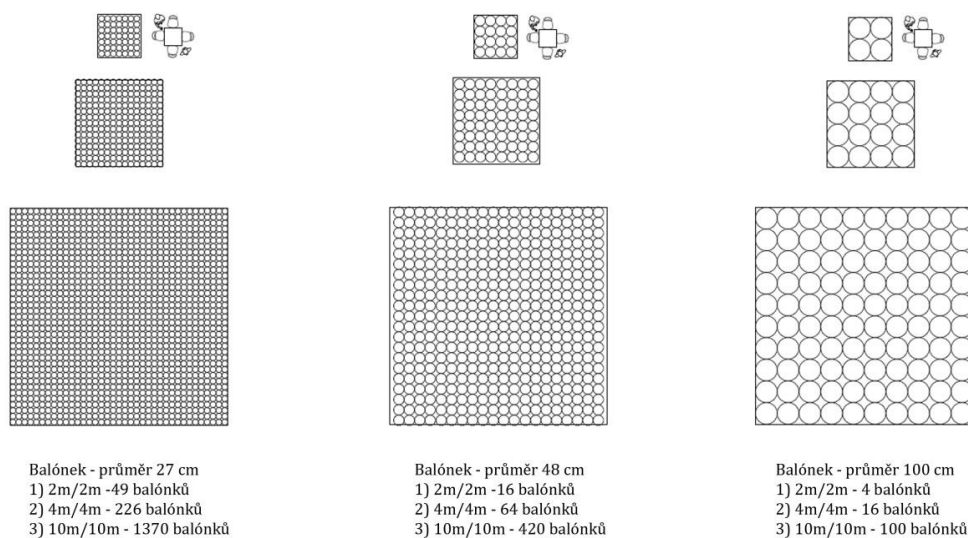
V našem případě je základním elementem pneumatický balón s jeho vlastnostmi elasticity a zvětšování vlastního objemu. Tento základní element byl posléze ukotven na flexibilní trubku, a tak vznikl základní prvek tohoto designu.



Obrázek 25: Schéma systému Bottom-up při návrhu Pavilonu

Při spojování těchto prvků do skupiny se začnou projevovat zmíněné vlastnosti a tyče se na základě velikosti balónů začínají ohýbat a zvětšovat tak půdorysný rozměr.

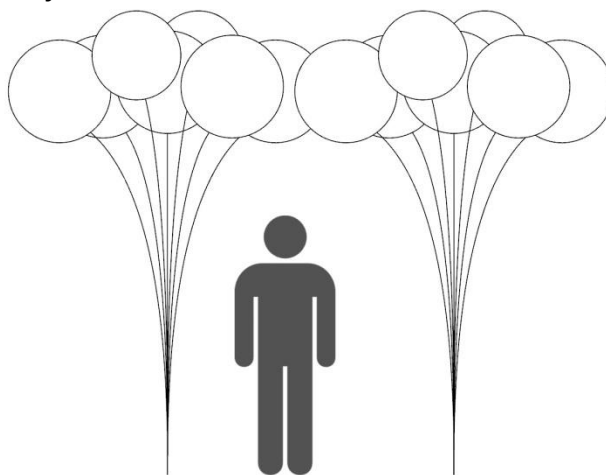
Podle zvolené velikosti a počtu balónů můžeme vypočítat, o jaké pokrytí plochy Pavilonem se bude v daném případě jednat. Různé varianty seskupení balónů jsou zřejmé ze schématu níže:



Obrázek 26: Půdorysný rozměr segmentu Pavilonu v závislosti na velikosti a počtu balónů

Pavilon je koncipován tak, aby fungoval spíše jako spojení několika segmentů - „stromů“ dohromady, než jako solitér kvůli lepšímu vytvoření zastřešovací plochy. Výsledná podoba Pavilonu vzniká uspořádáním těchto segmentů.

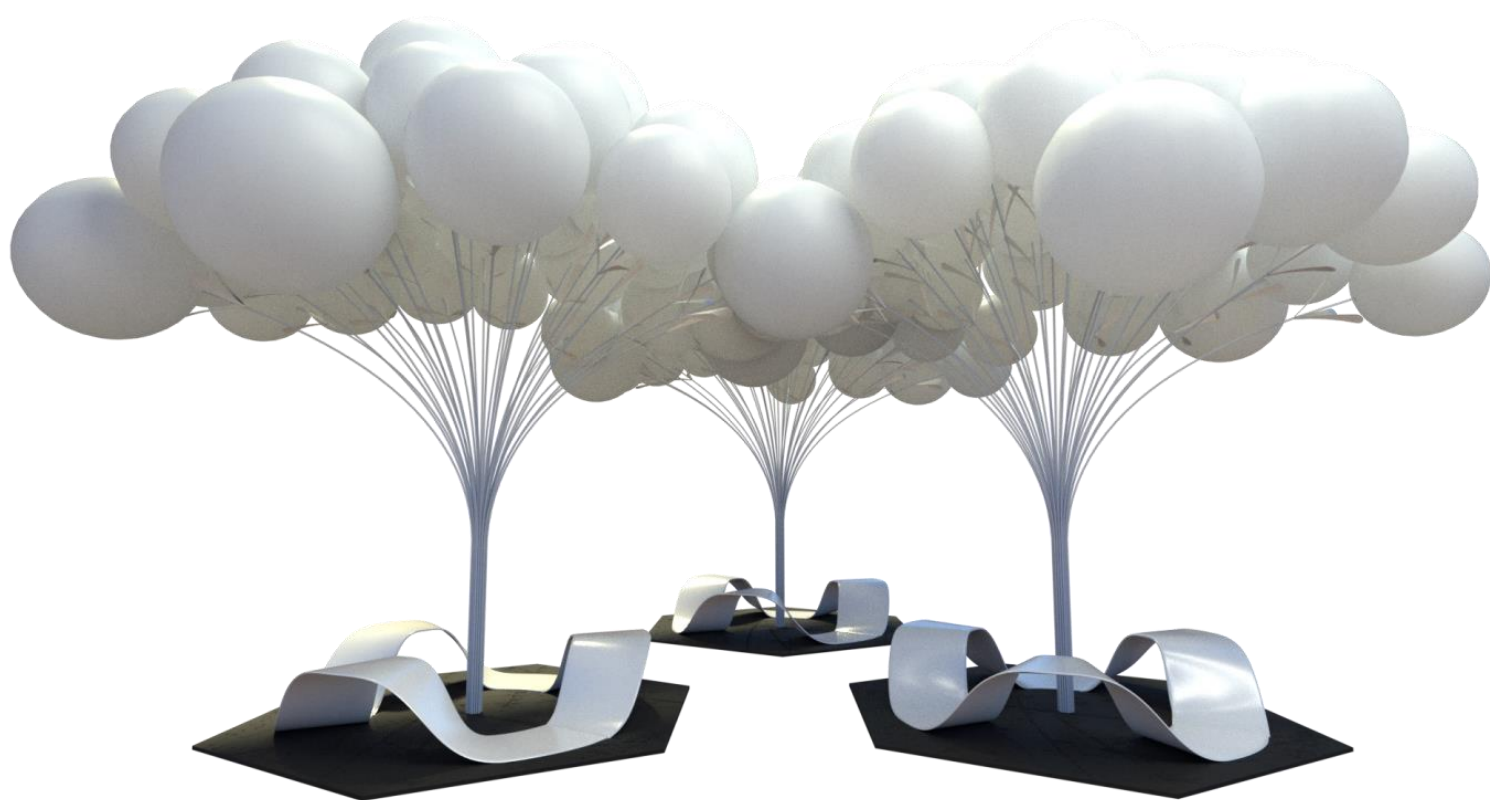
Při různém spojení několika těchto segmentů dohromady se vytváří velká různorodá struktura připomínající střechu s podpěrnými sloupy. Můžeme zde nalézt i jakousi podobnost s architektonickými prvky jako je klenba, která se ovšem vytváří v závislosti na člověku. V určitém smyslu, tak můžeme v Pavilonu vidět i charakteristické rysy klasických architektonických slohů.



Obrázek 27: Schéma vytvoření „klenby“ při spojení dvou segmentů



Obrázek 28: Finální vizualizace Pavilonu ve vyfouknutém stavu



Obrázek 29: Finální vizualizace Pavilonu v nafouknutém stavu





Obrázek 30: Finální vizualizace Pavilonu ve vyfouknutém stavu



Obrázek 31: Finální vizualizace Pavilonu v nafouknutém stavu

### 2.1.2. Responzivní studie

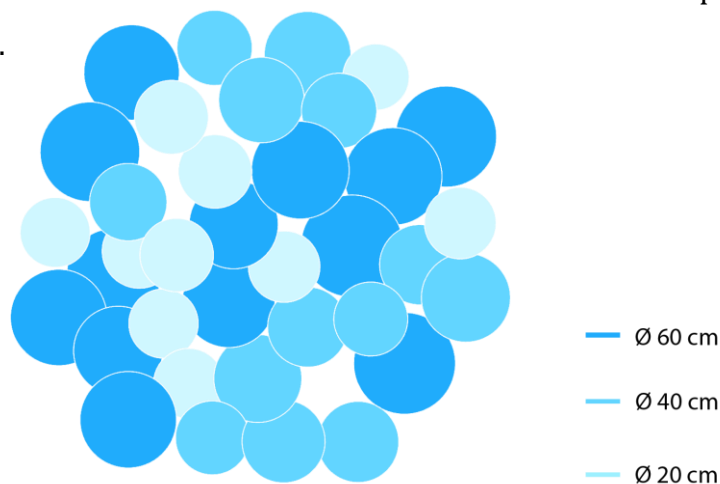
Pohyb člověka je stěžejní, jelikož je hlavním spouštěčem tohoto Pavilonu. Bylo zde ovšem spousta jiných možností, jak a na co bude Pavilon reagovat, které připadaly v úvahu. Například odezva na světlo, na počasí, na určitý tok dat atd. Rozhodnuto nakonec bylo o nepřetechnizovávání a „zesložitování“ návrhu a soustředění se pouze na responzivitě k člověku, který se u Pavilonu pohybuje.

Každý segment Pavilonu je rozdělen do tří okruhů díky čemuž můžeme dosáhnout tří různých velikostí balonů. Pro finální prototyp bylo vybráno řešení rozdělení segmentu na 3 samostatné pneumatické obvody, ve kterých bude hnán vzduch pod různým tlakem. Díky tomu bude struktura různorodější a bude se více projevovat efekt jakéhosi samořazení, kdy se větší balóny budou snažit dostat skrze ty menší více ke středu, a struktura se tak bude více hýbat a svým způsobem žít.

Je zde několik variant, jak se Pavilon může chovat při zaznamenání pohybu.

#### Varianta 1

První z nich je, že po zaznamenání pohybu se začne do všech tří okruhů vhánět vzduch a pomocí časovače se vytvoří 3 různé velikosti balonů. Nezáleží tak na směru příchodu osoby ani na počtu osob.

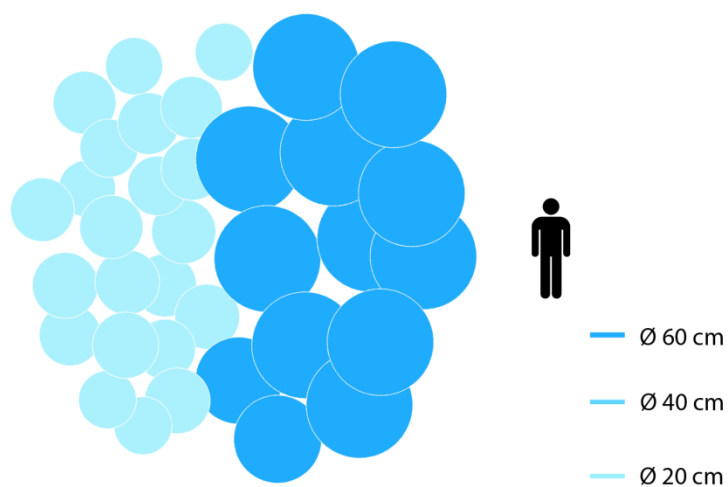


Obrázek 32: Půdorysná ukázka velikostí balonů při variantě 1

#### Varianta 2

Další variantou může být rozdělení segmentu na sekce podle směru příchodu osoby. V tom směru, kde čidlo zaznamená pohyb, začne být do odpovídající sekce vháněn vzduch a ta se tak diametrálně zvětší od zbytku. Pohyb osoby by byl dále sledován systémem a balóny by se tak zvětšovaly jen v místech, kde by osoba stála.

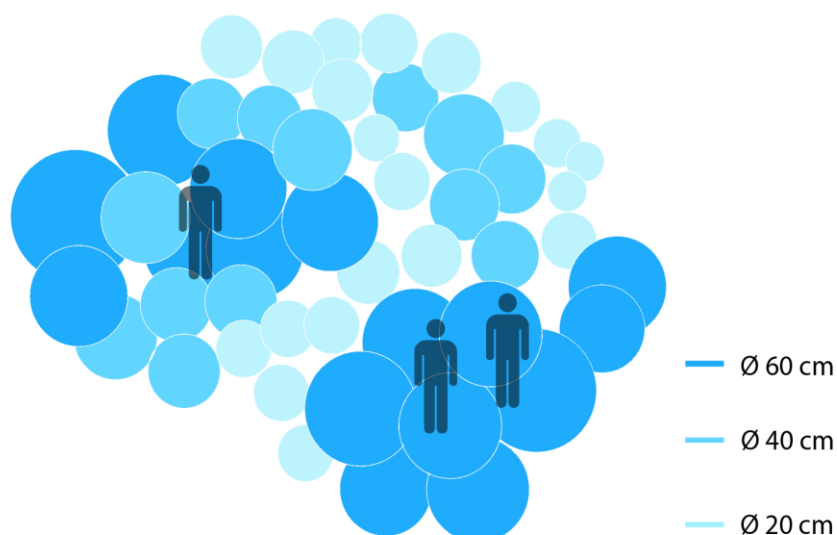




Obrázek 33: Půdorysná ukázka velikostí balónů při variantě 2

### Varianta 3

Třetí způsob může být nafukování segmentu podle počtu osob pod ním, kde by systém neustále ověřoval obsazenost prostoru pod Pavilonem a podle získaných dat by byly nafukovány balóny na největší možný průměr tam, kde bude nejvíce lidí.



Obrázek 34: Půdorysná ukázka velikostí balónů při variantě 3

### 2.1.3. Simulace

U simulací bylo třeba především nastínit vlastnosti materiálů a zjistit přibližný děj, který se bude odehrávat při nafukování balónů, a jak výsledná struktura bude vypadat při různé konfiguraci pozice délky tyčí a průměru balónů. Při počítačové simulaci je možné zjistit, jak se bude Pavilon chovat, ověřit a vyzkoušet si, jaký bude mít vliv na design změna konfigurace ještě před samotným konstruováním prototypu. Po počítačových simulacích přicházejí na řadu materiálové zkoušky, které se mohou opírat o výsledky a předpoklady z těchto simulací a usnadnit tak vývoj výsledného Prototypu.

Pro tento účel bylo použito prostředí Grasshopperu, propojené s plugíny jako Firefly pro realtime komunikaci s Arduinem a Kangaroo pro samotnou fyzikální simulaci.

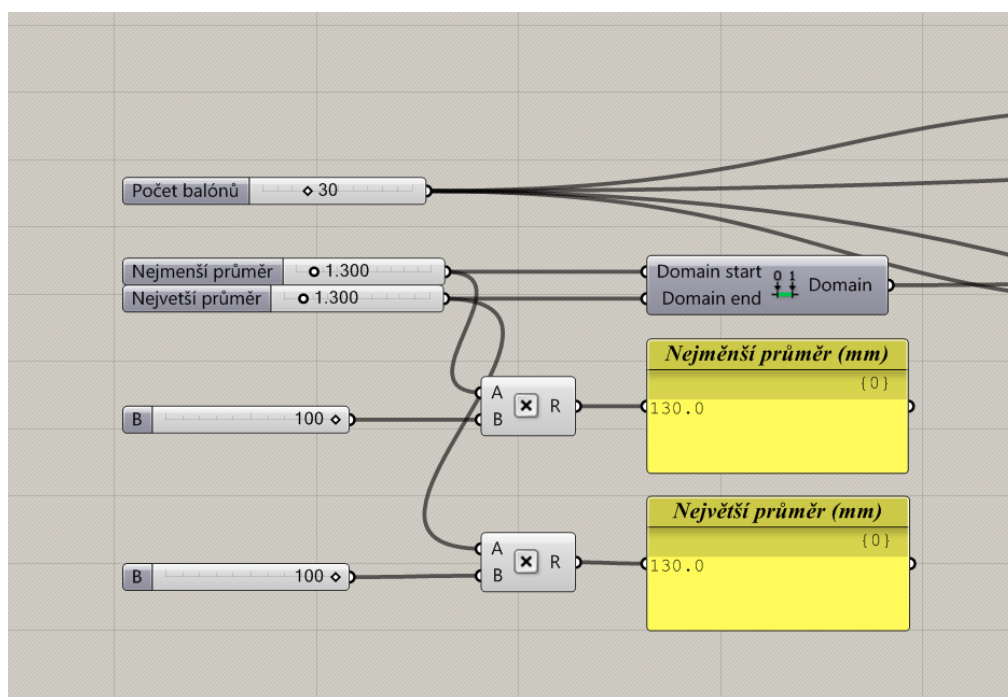
První z provedených simulací je tzv. sphere packing. Jde o kolizní simulaci shlukování částic o daných velikostech. Tyto částice, v tomto případě koule, jsou k sobě přitahovány určitou silou pomocí tzv. springs neboli pružinek a za pomoci fyzikálního solveru Kangaroo simulace ukazuje, jak se shlukují. Můžeme zde pozorovat jakousi fyzikální „samoorganizaci“, kdy se balony snaží působením fyzikálních sil najít svoje optimální místo ve shluku.

Jde o obecnou simulaci nastiňující chování částic při shlukování a jejich kolidování a ovlivňování se na základě daných průměrů.

Na následujících obrázcích je vidět několik příkladů, jak se může 30 těchto částic formovat při různých průměrech.



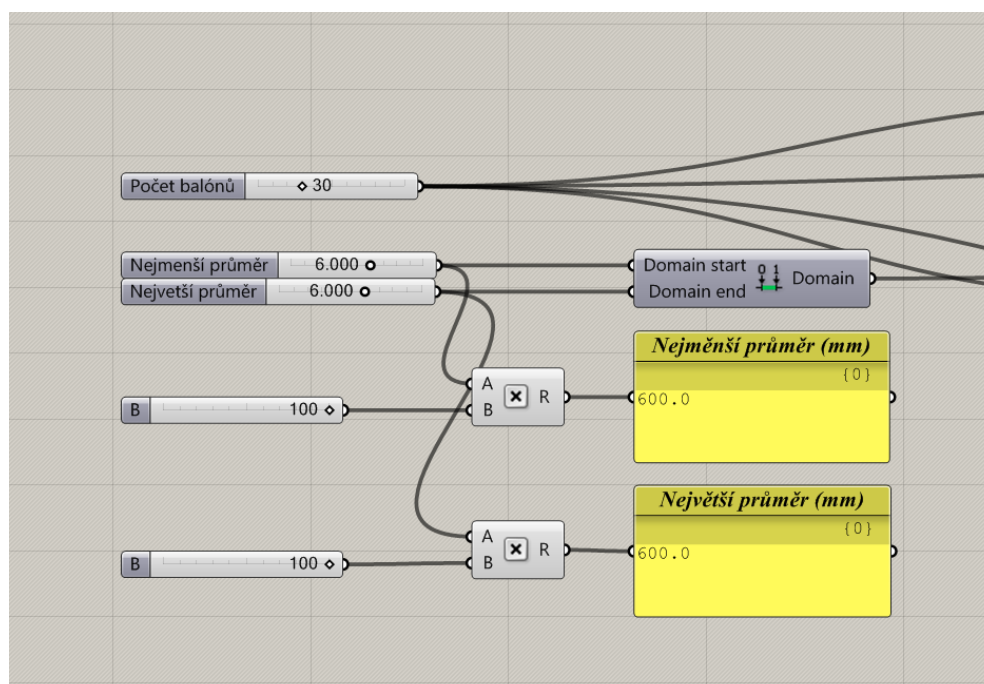
Obrázek 35: Ukázka simulace sphere packing



Obrázek 36: Ukázka scriptu simulace sphere packing



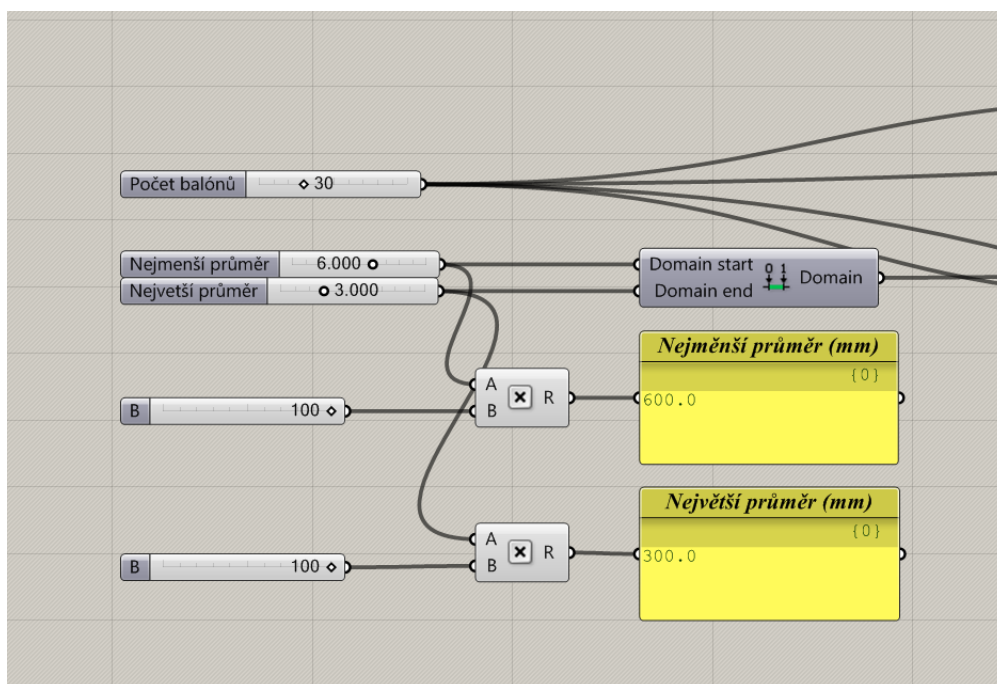
Obrázek 37: Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 130mm



Obrázek 38: Ukázka scriptu simulace sphere packing s koulemi o průměru 600mm



Obrázek 39: Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 600mm



Obrázek 40: Ukázka scriptu simulace sphere packing s koulemi o průměru 600 a 300mm

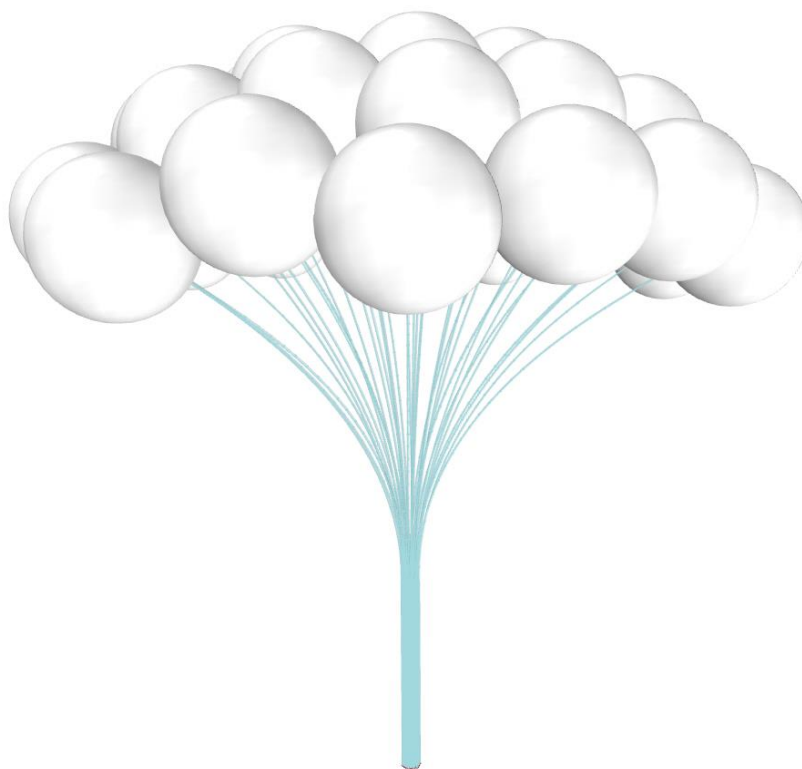


Obrázek 41: Ukázka simulace sphere packing s koulemi o průměru 600 a 300mm

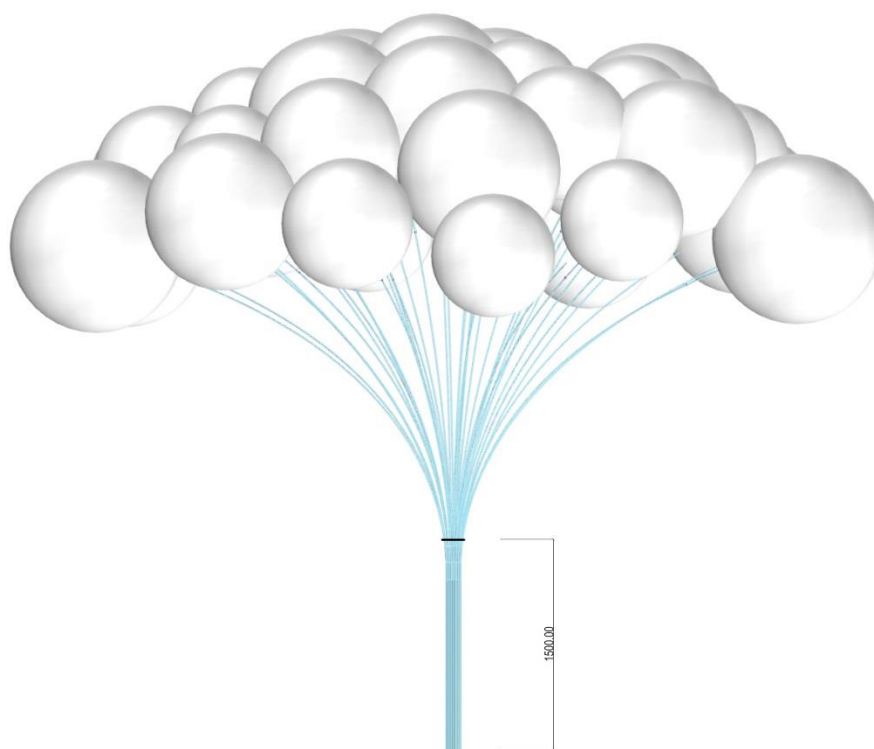
Další ze simulací je ukázka rozpínání balonů na flexibilních tyčích. Zde je vidět, jaký má efekt zvětšování průměrů balonů na ohebnost tyčí. Při této simulaci bylo hlavně zjišťováno, jak velká koruna balonů bude při různých velikostech a počtech balonů. Také je zde simulovaná různá výška svázání kmene.



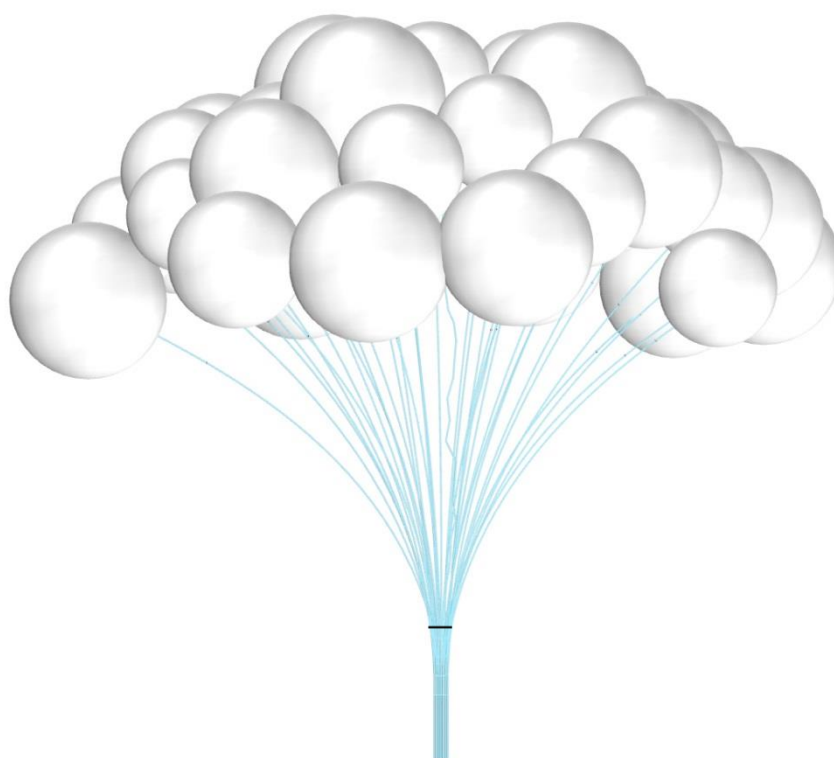
Obrázek 42: Ukázka simulace rozpínání ve vyfouknuté poloze



Obrázek 43: Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze s balóny o rozměru 600mm



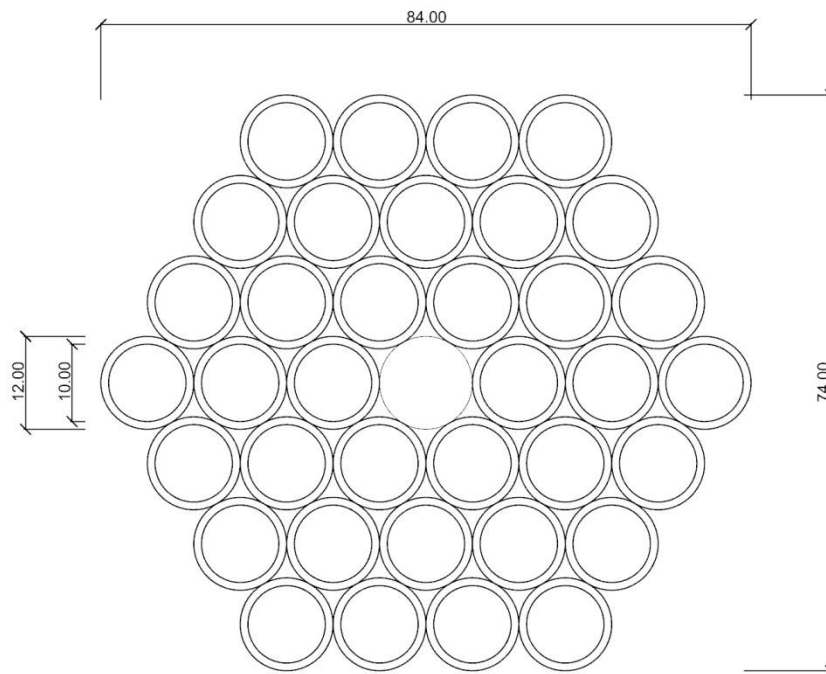
Obrázek 44: Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze s balony o rozměrech 300-600 mm a spojníkem tyčí ve výšce 1500mm



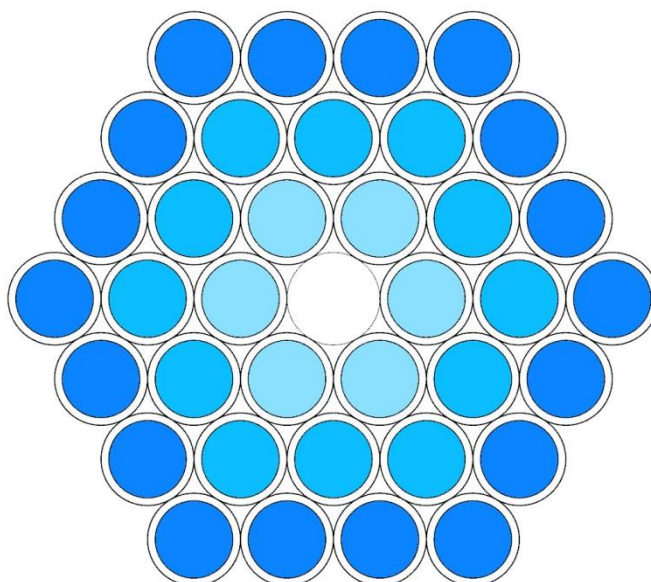
Obrázek 45: Ukázka simulace rozpínání v nafouknuté poloze se spojníkem tyčí ve výšce 400mm



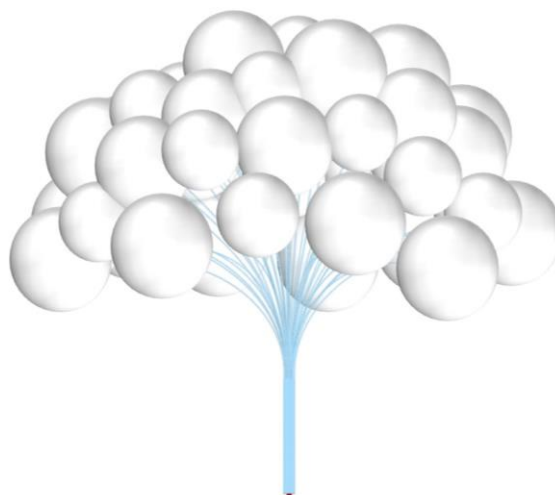
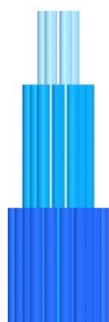
Další ze simulací je ukázka různé konfigurace délky tyčí a následný efekt na koruně balonů.



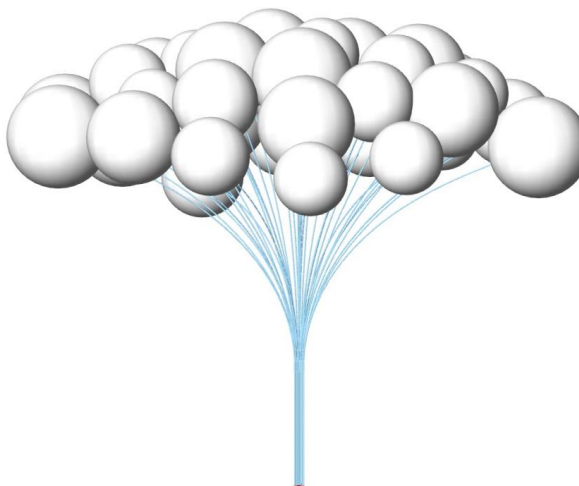
Obrázek 46: Půdorysný výkres svazku 30ti tyčí



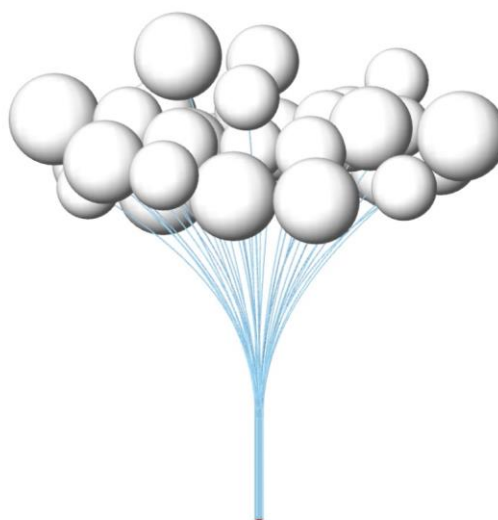
Obrázek 47: Půdorysný výkres svazku 30ti tyčí a jejich označení podle okruhů



Obrázek 48: Koruna balonů při nejdelším prostředním okruhu



Obrázek 49: Koruna balonů při rovnoměrné délce tyčí



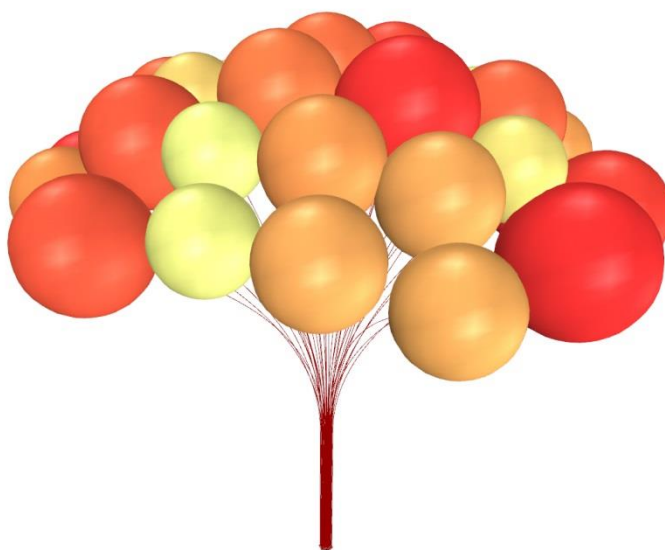
Obrázek 50: Koruna balonů při nejvyšším okrajovém okruhu

Jako další můžeme na obrázku 51 vidět analýzu vychýlení balonů ze středu segmentu Pavilonu. Tam, kde jsou balony zbarveny do modra, jejich pozice je skoro kolmá k ose segmentu. Tam, kde jsou balony zbarveny do červena, nacházejí se nejdále od středu a vyvíjejí největší tlak na střed.

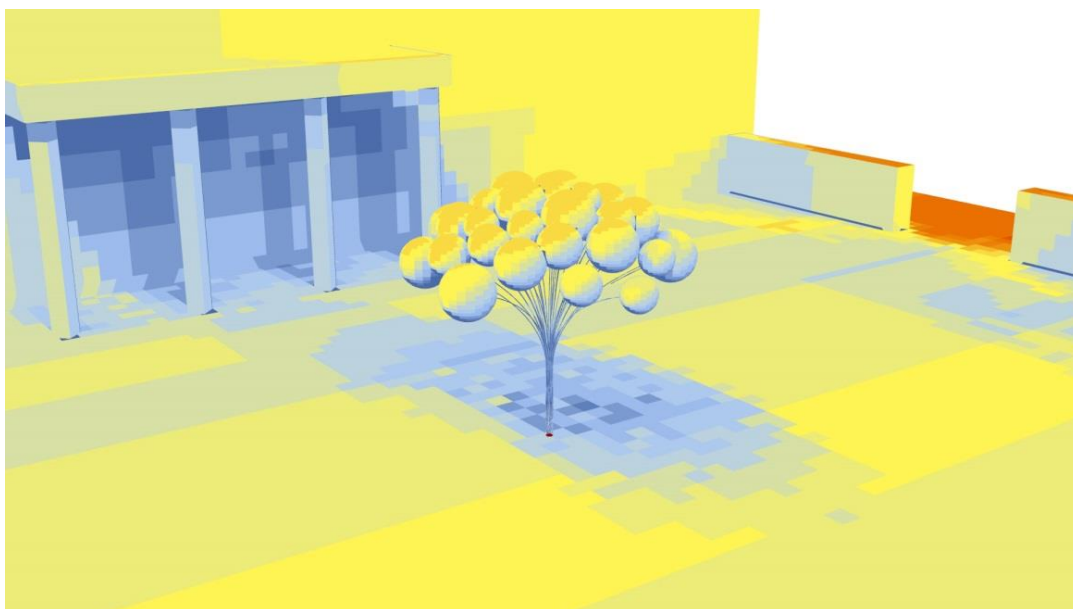


Obrázek 51: Vychýlení balonů od středu segmentu

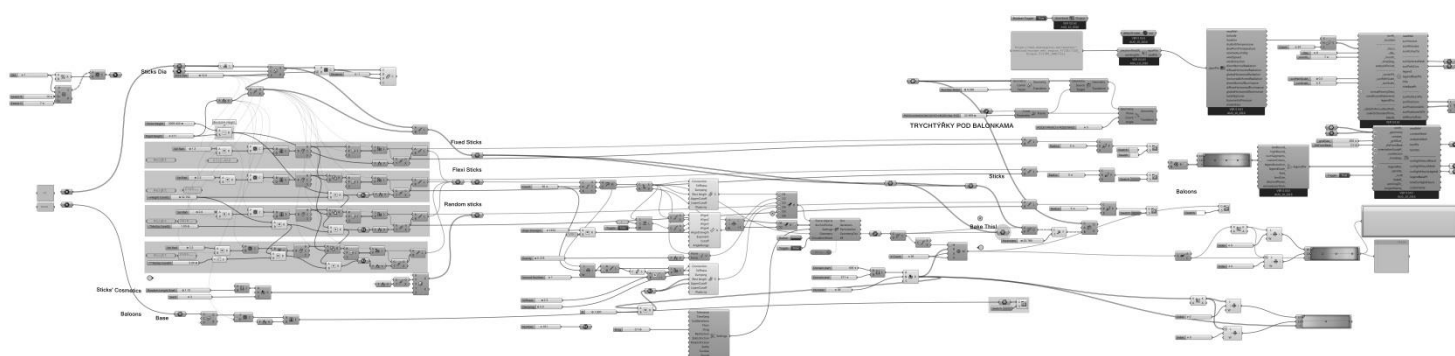
Na obrázku 52 můžeme vidět analýzu velikosti balonů.



Obrázek 52: Analýza velikosti balonů



Obrázek 53: Analýza stínění pavilonu v průběhu dne



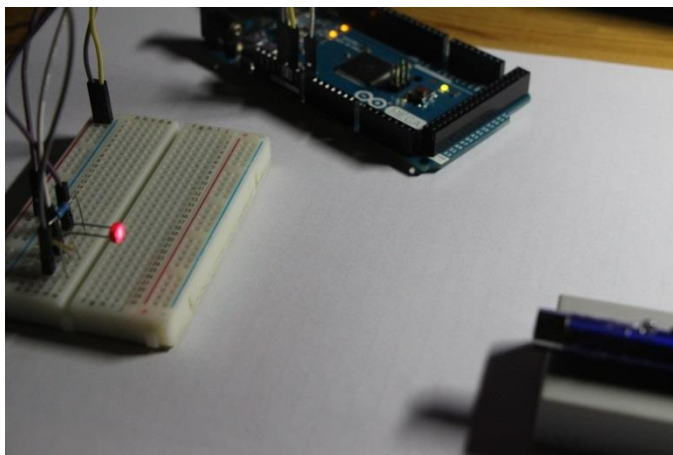
Obrázek 54: Kompletní Grasshopper script

### 2.1.4. Řízení

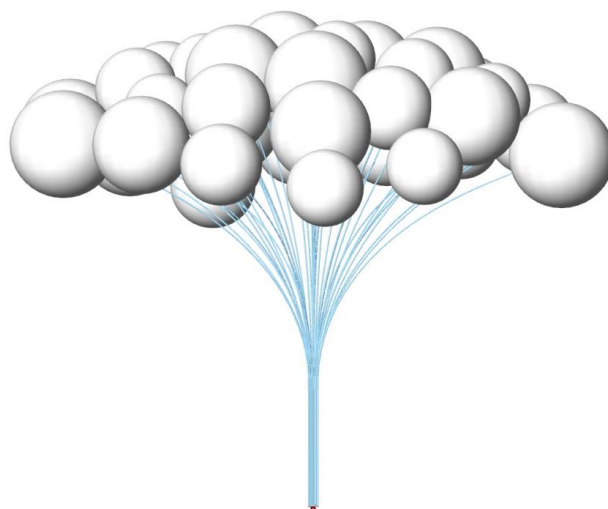
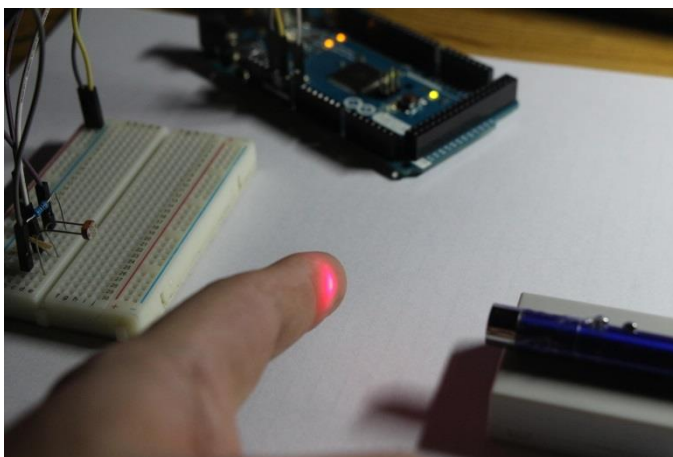
V této kapitole je popisována první zkouška řízení pomocí laserové závory v Arduino a propojení se simulací v Grasshopperu(dále GH).

Pro komunikaci Arduina s programem existuje v GH zásuvný modul jménem Firefly . Je to modul umožňující sériovou komunikaci mezi GH a Arduinem a vytváří interakci těchto programů. Odesílá a přijímá data přes sériový port a dále je může upravovat. Výstupní číselné hodnoty z Arduina mohou být použity jako vstupní data pro model v GH. Model se tak může interaktivně chovat podle přijímaných dat.

Na obrázcích je vidět zkušební zapojení laserové závory za použití fotorezistoru a laseru. Po přerušení laseru dopadajícího na rezistor se změní hodnota odporu na signálním pinu a 3D model se začne nafukovat.

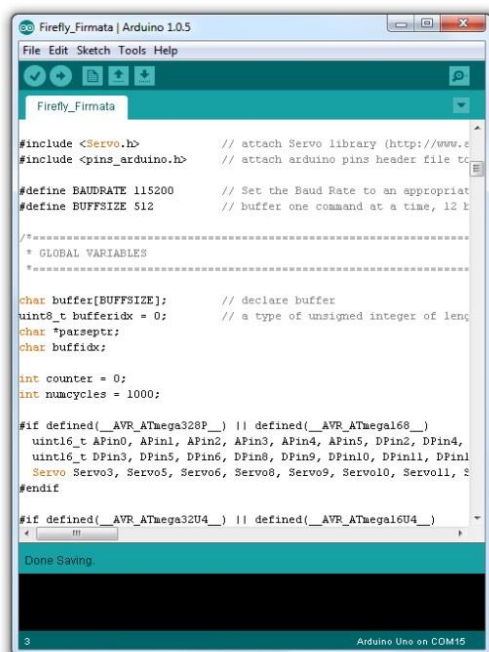


Obrázek 55: Nepřerušená laserová brána a segment Pavilonu ve vyfouklé poloze



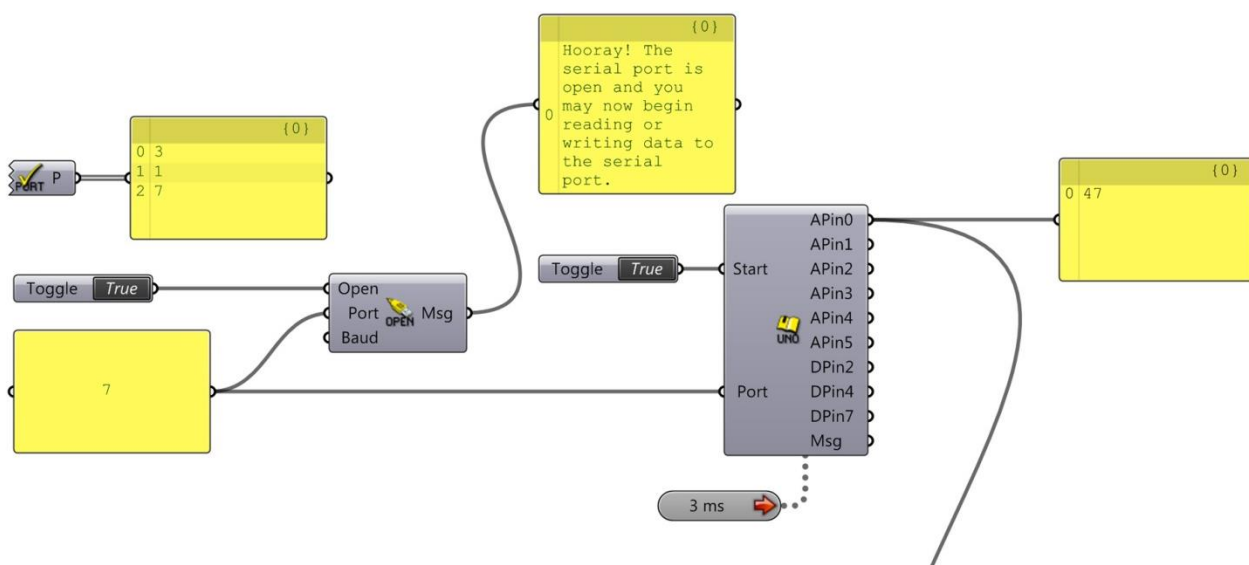
Obrázek 56: Přerušená laserová brána a segment Pavilonu v nafouknuté poloze

Do desky Arduina je potřeba nahrát script Firefly firmata, který zajišťuje správnou komunikaci mezi všemi funkcemi.



Obrázek 57: Script Firefly firmata

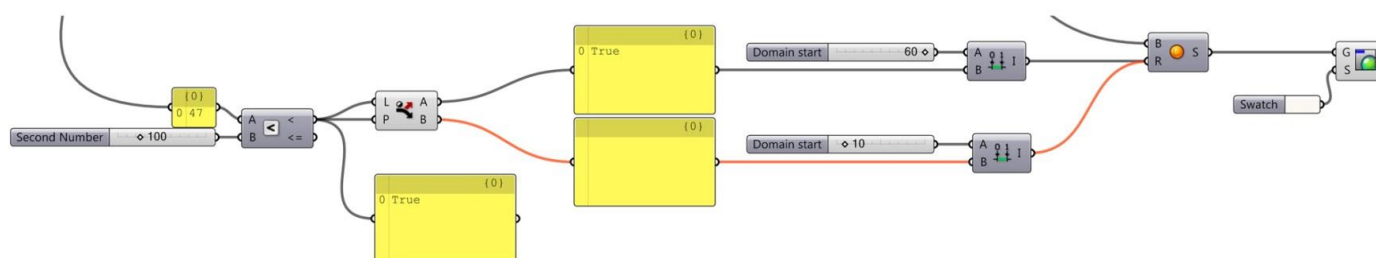
Na obrázku 58 můžeme vidět příklad základní konfigurace Firefly v GH.



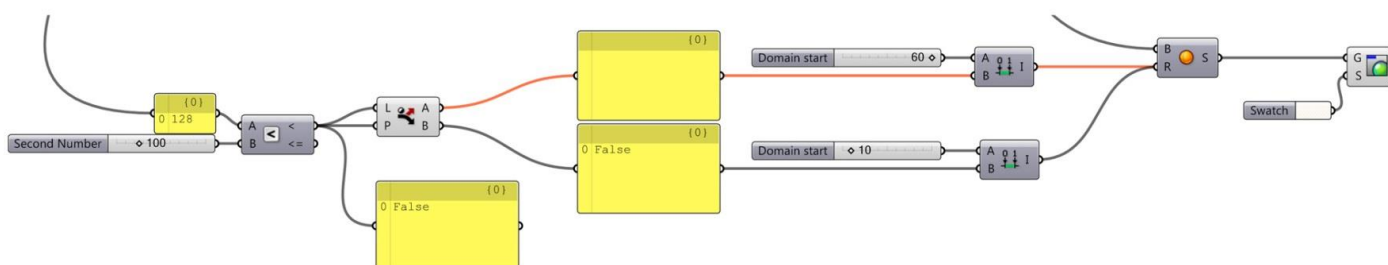
Obrázek 58: Základní konfigurace pluginu Firefly v GH



Ve zkušebním zapojení laserové závory je použit jednoduchý příklad algoritmizace podmínky a následného rozhodování (True, False). Pokud je podmínka splněna, tzn. hodnota z Pinu 0 je menší než 100, algoritmus ji vyhodnotí jako pravdu (True) a pošle signál do parametru radiusu objektu a ten se zvětší na hodnotu 60. Pokud ovšem podmínka splněna není, tzn. hodnota je větší než 100, algoritmus ji vyhodnotí jako False a signál zůstane na hodnotě 10.



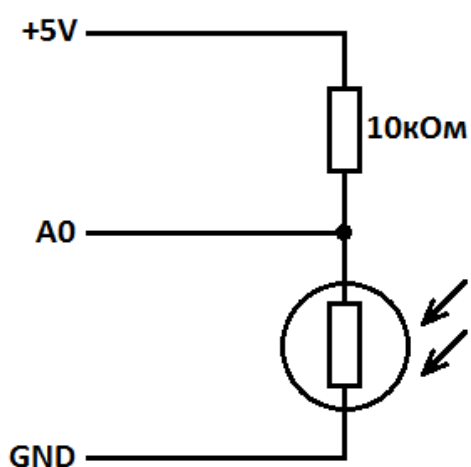
Obrázek 59: Příklad algoritmizace podmínky (True)



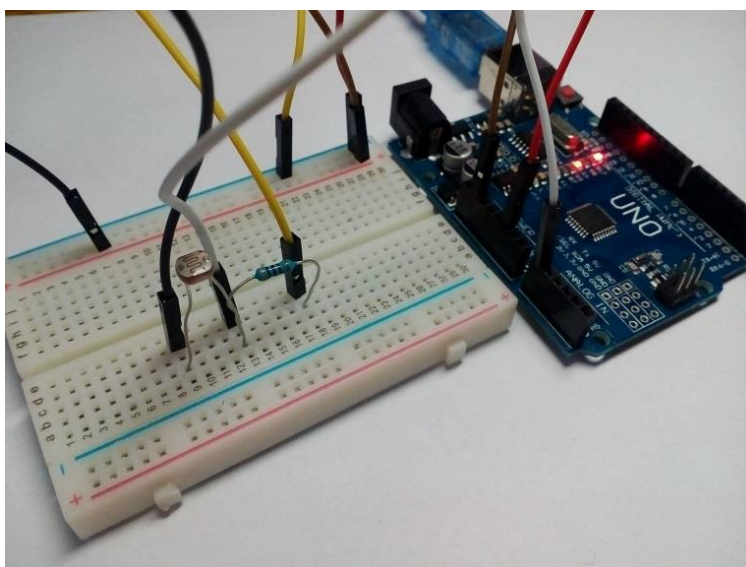
Obrázek 60: Příklad algoritmizace podmínky (False)



Na obrázku 59 je znázorněno jednoduché schéma zapojení fotorezistoru s 10K ohmovým rezistorem a na obrázku \*\* ukázka zapojení signálního kabelu do analogového pinu A0 na Arduino.



Obrázek 61: Schéma zapojení fotorezistoru

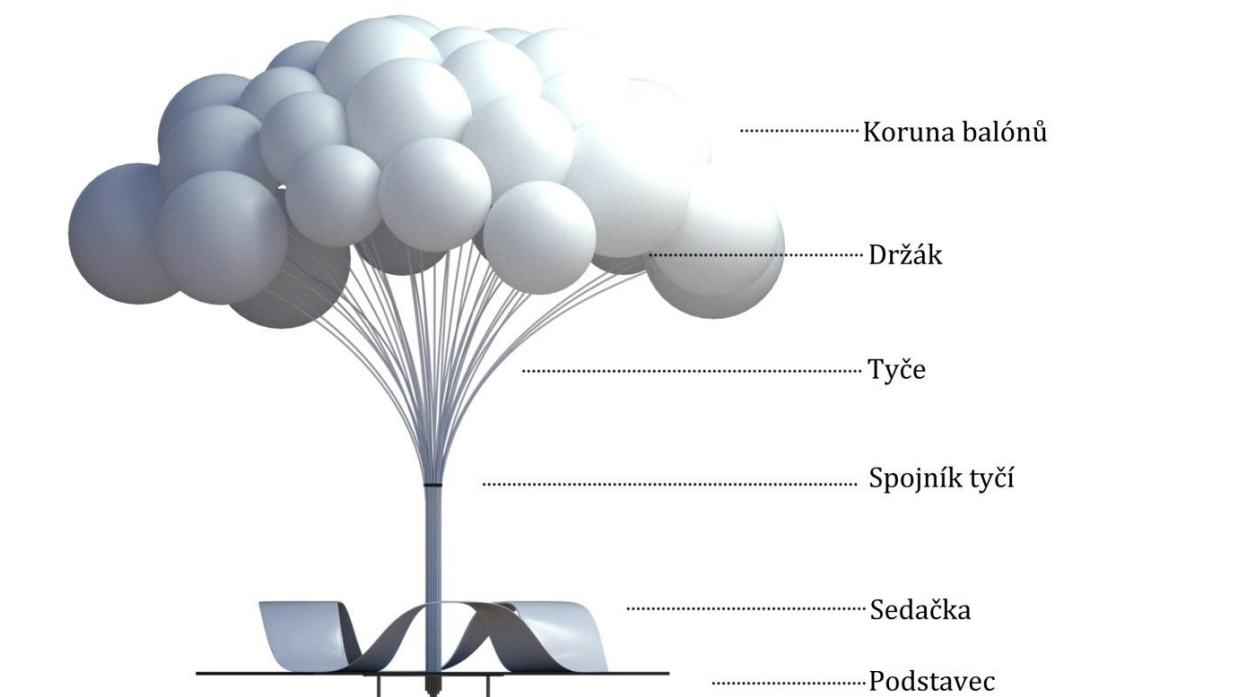


Obrázek 62: Zapojení fotorezistoru, Arduino

## 2.2. KONSTRUKCE PROTOTYPU

Prototyp se skládá z několika elementů od podstavce až po samotné balony. Podstatou bylo, aby segment mohl stát samostatně na zemi, dal se jednoduše kompletovat a rozebírat a byl plně funkční. Jedním z nejtěžších úkolů bylo najít způsob, jak ukotvit balony v horní části tyčí tak, aby se držely stále vzpřímeně k „normálovému“ směru tyčí. Neméně snadné bylo najít vhodné materiály na tyče a balony s požadovanými vlastnostmi elasticity, flexibility a pružnosti.

Dalším ze základních úkolů pro postavení prototypu bylo vymyslet způsob, jakým bude dopravován vzduch do koruny balonů. Tedy vytvořit pneumatický obvod splňující požadavky na časovou odezvu, tlak v systému a rychlost vyfukování.



Obrázek 63: Hlavní elementy Prototypu-segmentu

### **2.2.1. Výběr elementů**

#### **BALONY**

Balony jsou hlavním elementem designu, a proto byly vybírány podle požadovaných vlastností spolu s vizuální podobou. Tyto vlastnosti jsou co největší elasticita a pevnost a vizuální stránka v podobě čisté bílé barvy.

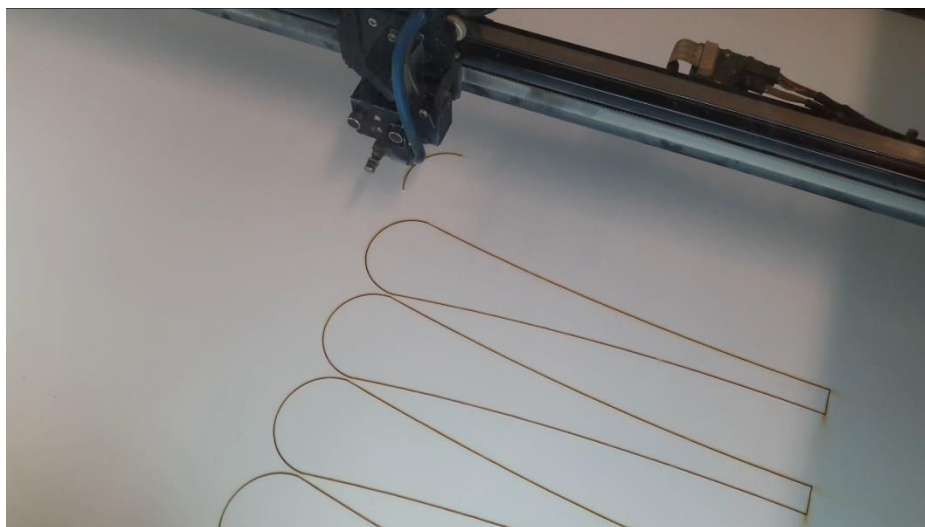
Materiál s těmito vlastnostmi splňuje latex díky jeho dobrým vlastnostem, zejména vysoké elasticitě. Požadované velikosti balonů byly zjišťovány v rámci simulací a bylo rozhodnuto, že největší možný průměr balonů by měl být 60 cm, kvůli půdorysné velikosti vzniklé střechy.



Obrázek 64: Hlavní element Prototypu

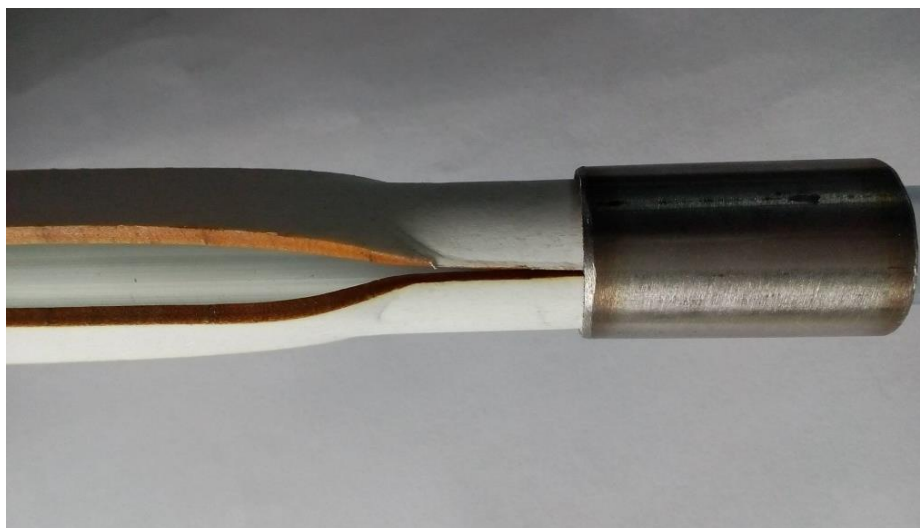
**PODPĚRA BALONŮ**

Podpěra zajišťuje konstantní normálovou polohu balonu k tyči a zabraňuje mu vychylovat se ze vzpřímené roviny. Podpěra je navržena jako nastrkovací dílec na vršek tyče s třemi cípy, které se s zvětšujícím průměrem balónu rozevřou a podpírají ho ve vzpřímené poloze. Jako finální materiál byla zvolena PVC deska s 2mm tloušťkou, do které byly jednotlivé prvky komponentu vylaserovány, viz. obrázek 65.



Obrázek 65: Laserování podpěry balonů

Ty byly posléze tvarovány za pomoci horkovzdušné pistole tak, aby se daly zasunout do objímky, viz. obrázek 64.



Obrázek 66: Nastrkování podpěry balonů do kovové objímky

**TYČE**

Pro tyče bylo zapotřebí vybrat materiál, který má dobrou pružnost a zároveň je dobře ohebný a pevný.

První prototypové modely vznikaly z vodovodních trubek PPR a po delším zkoumání se dospělo k závěru, že mají velmi špatnou pružnost a nevracejí se zpět do původní polohy. To bylo zapříčiněno velkou pamětí materiálu při dlouhodobém namáhání.

Proto jsme přistoupili k volbě materiálu PVC-U, jehož pružnost a flexibilita splňovala přesně očekávané požadavky. Vnější průměr těchto finálních trubek je 12mm a vnitřní 10mm.

Délka všech tyčí je 2.5 metrů, ale jejich délka vůči sobě se dá nastavovat pomocí posouvání tyčí skrz podstavec a tím tak ovlivňovat výsledný tvar koruny.

**SPOJNÍK TYČÍ**

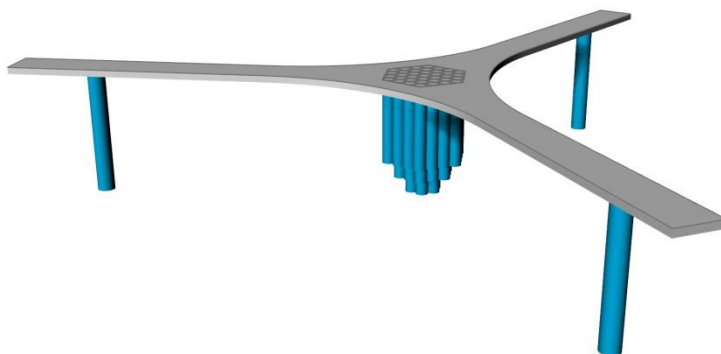
Spojník tyčí zajišťuje pevné svázání všech tyčí do jakéhosi kmenu. Jeho posouváním lze nastavovat výšku ohybu tyčí při nafukování.



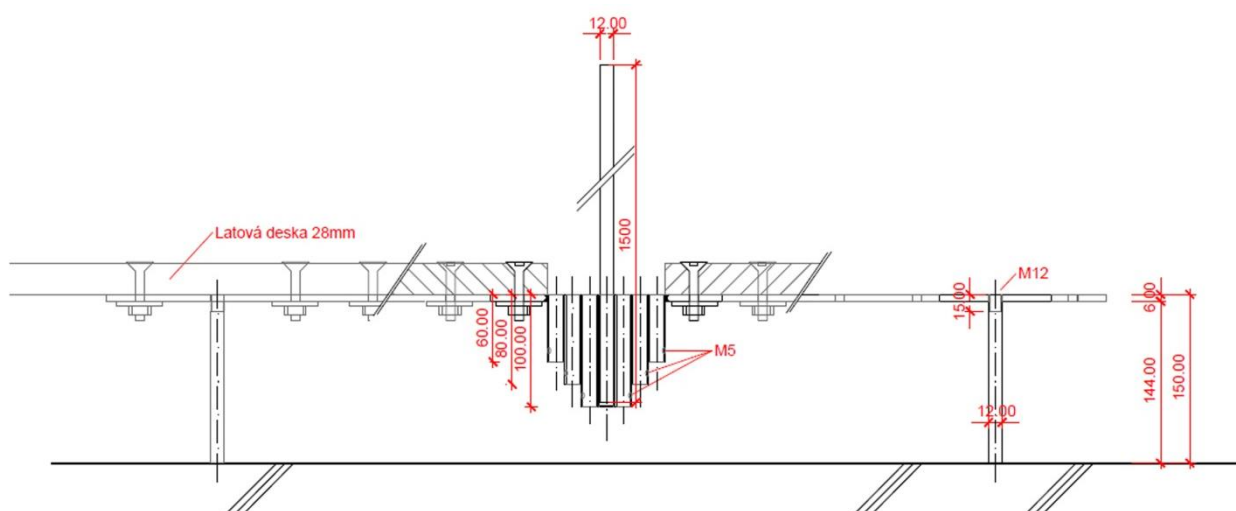
Obrázek 67: Spojník držící svazek tyčí u sebe

**PODSTAVEC**

Podstavec zajišťuje statickou stabilitu celého Prototypu a díky zabudovanému držáku drží svazek tyčí pevně uprostřed. Na železný podstavec je přišroubována šestiúhelníková dřevěná deska, která slouží jako prostor pro sednutí a zakrývá pneumatické obvody.



Obrázek 68: Kovový trojcípý podstavec se svařeným držákem tyčí



Obrázek 69: Výkres kovového trojcípeho podstavce se svařeným držákem tyčí



Obrázek 70: Plastové tyče zasunuté do držáku tyčí v podstavci



**SPOJKA TRUBKY A PNEUMATICKÉ HADICE**

Tato spojka spojuje plastové trubky Prototypu s pneumatickými hadicemi, které přivádějí vzduch do pavilonu. Tyto dva komponenty byly spojeny pomocí hliníkové trubičky s vnějším průměrem 10mm. Oba konce komponentů byly nahřáty horkovzdušnou pistolí a poté nasunuty na tuto hliníkovou spojku, viz obrázek 54. Poté byla část pneumatické hadice utažena pomocí speciálních objímek, viz. obrázek 55.



Obrázek 71: Hliníková spojka spojující pneumatickou hadici s trubkou Prototypu

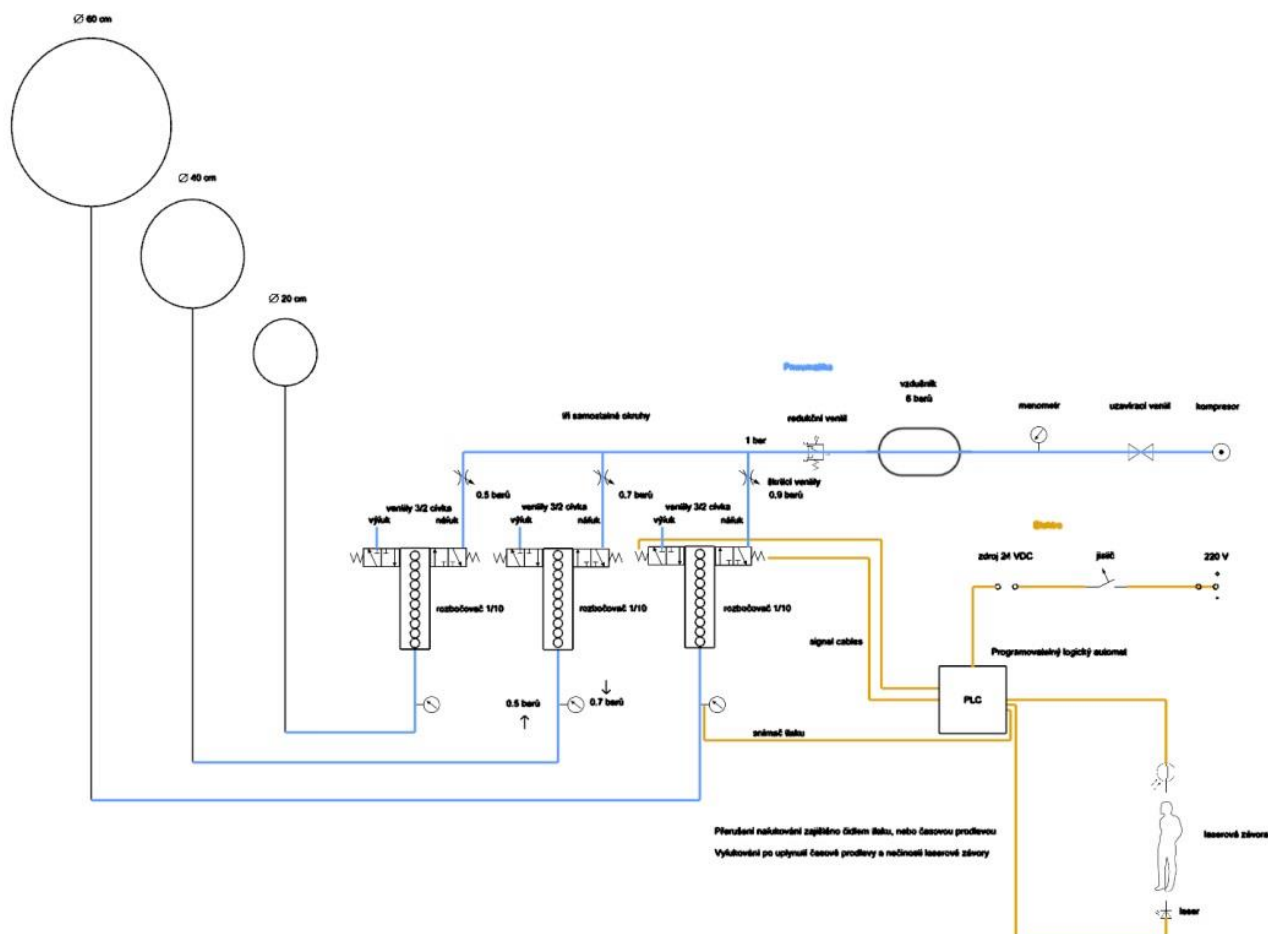


Obrázek 72: Hliníková spojka spojující pneumatickou hadici s trubkou Prototypu upevněná objímkou



### 2.2.2. Řídící obvody

Řízení funkcí Prototypu se skládá ze dvou vzájemně propojených obvodů, a to pneumatického a elektronického. Ty budou popsány v následujícím odstavci. Principiální návrh řízení je znázorněn na obrázku 73.



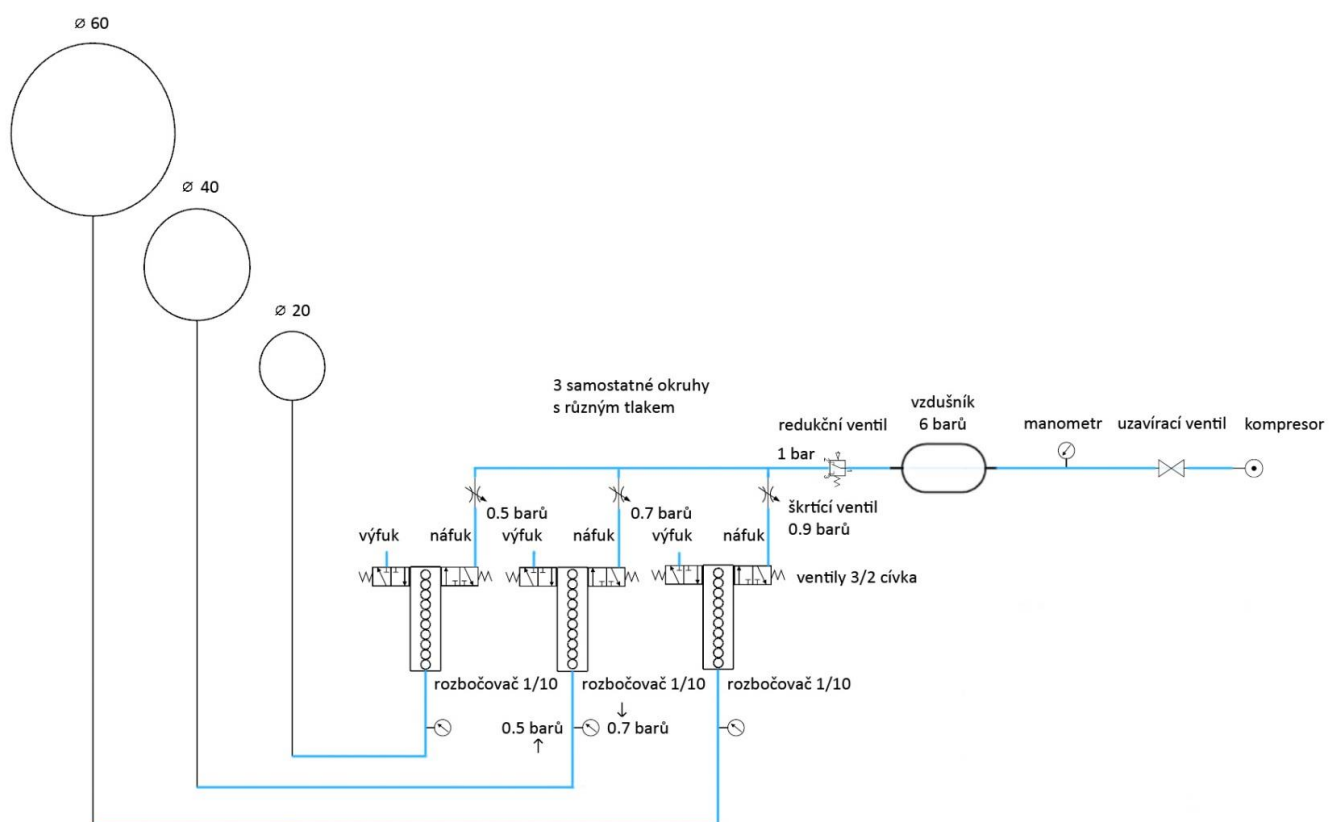
Obrázek 73: Návrh celkového řízení Prototypu

#### A) Pneumatický obvod

Pneumatický obvod se skládá z několika základních prvků, které ovládají tlak, průtočné množství a cesty stlačeného vzduchu. Cesty stlačeného vzduchu jsou rozděleny do třech segmentů podle požadované velikosti balonů. Každý segment umožňuje různé funkce nafukování a vyprazdňování skupiny balonů.

K nastavení požadovaného tlaku slouží redukční ventil s manometrem, který je umístěn na vstupu pneumatického obvodu. Následuje rozdělení do třech samostatných větví, které jsou osazeny redukčními ventily, které určují rychlost nafukování. Klíčovými prvky tohoto pneumatického obvodu jsou pneumatické ventily s elektromagnetickým

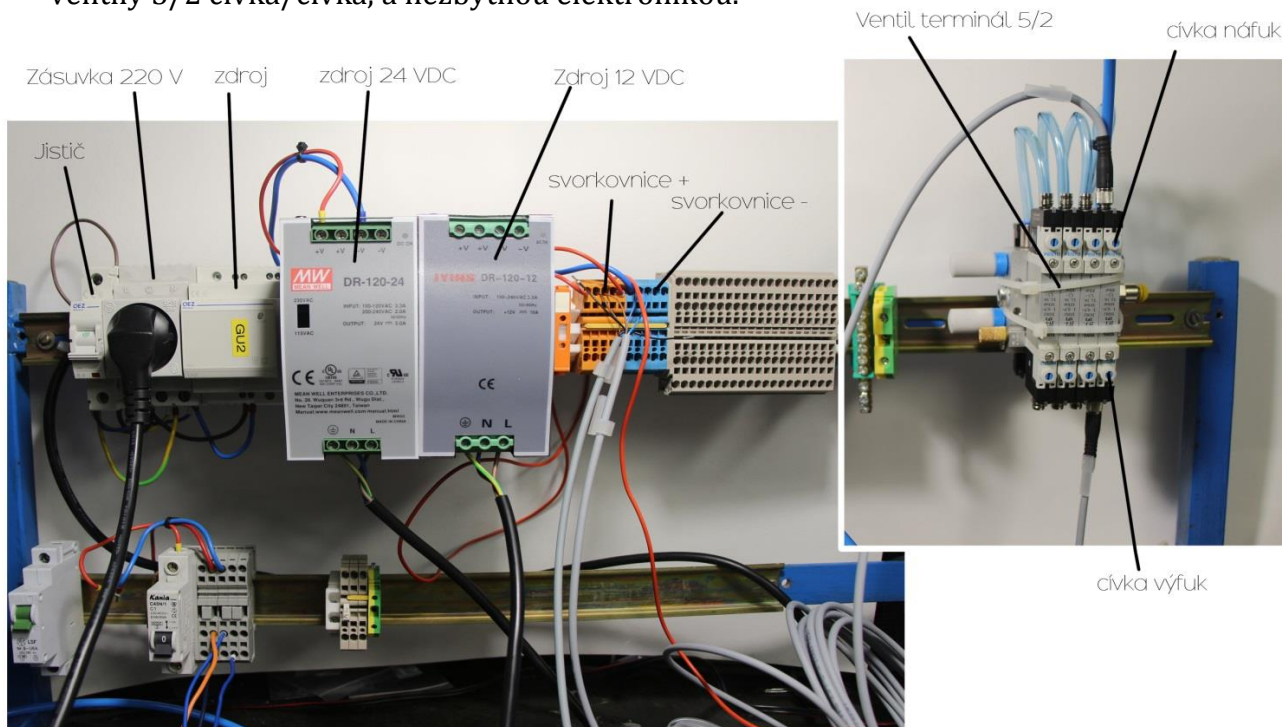
ovládáním, kterými je řízeno časování nafukování i vyfukování balónů v jednotlivých segmentech, viz. principiální pneumatické schéma obrázek 74.



Obrázek 74: Principiální schéma pneumatického obvodu

K výběru vhodných pneumatických ventilů byla použita testovací stolice, která umožnila zjistit správné tlakové úrovně, změřit časy plnění a vyprazdňování a ověřit vlastnosti balonů po několika cyklech nafukování/vyfukování.

Na obrázku\*\*\* je vidět tato stolice osazená zprava doleva ventilovým terminálem se 4mi ventily 5/2 cívka/cívka, a nezbytnou elektronikou.



Obrázek 75: Principiální schéma pneumického obvodu

K tomuto testování byly použity ventily typu VUVG 5/2 cívka/cívka (pěticestné se dvěma polohami).

Parametry toho ventilu byly:

- průtok [l/min]: 100
- provozní tlak [bar]: 1-8
- provozní napětí [VDC]: 24



Obrázek 76: Ventil VUVG 5/2 cívka/cívka

Při měření doby nafukování a vyfukování jednoho balonu o průměru 60 cm a použité hadici o průměru 5mm byly zjištěny tyto hodnoty:

-doba nafukování při 1 baru: cca 40sekund

-doba vyfukování: cca 15 min

Zjištěné parametry doby nafukování a vyfukování nesplňovaly navržená kritéria, proto muselo dojít ke změnám parametrů průtoku ventilů a hadic.

Po konzultaci s firmou FESTO byl vybrán vhodný typ ventilu VUVS 3/2 cívka, který splňuje požadované parametry vyššího průtoku vzduchu.

Parametry toho ventilu jsou:

-průtok [l/min]: 2300

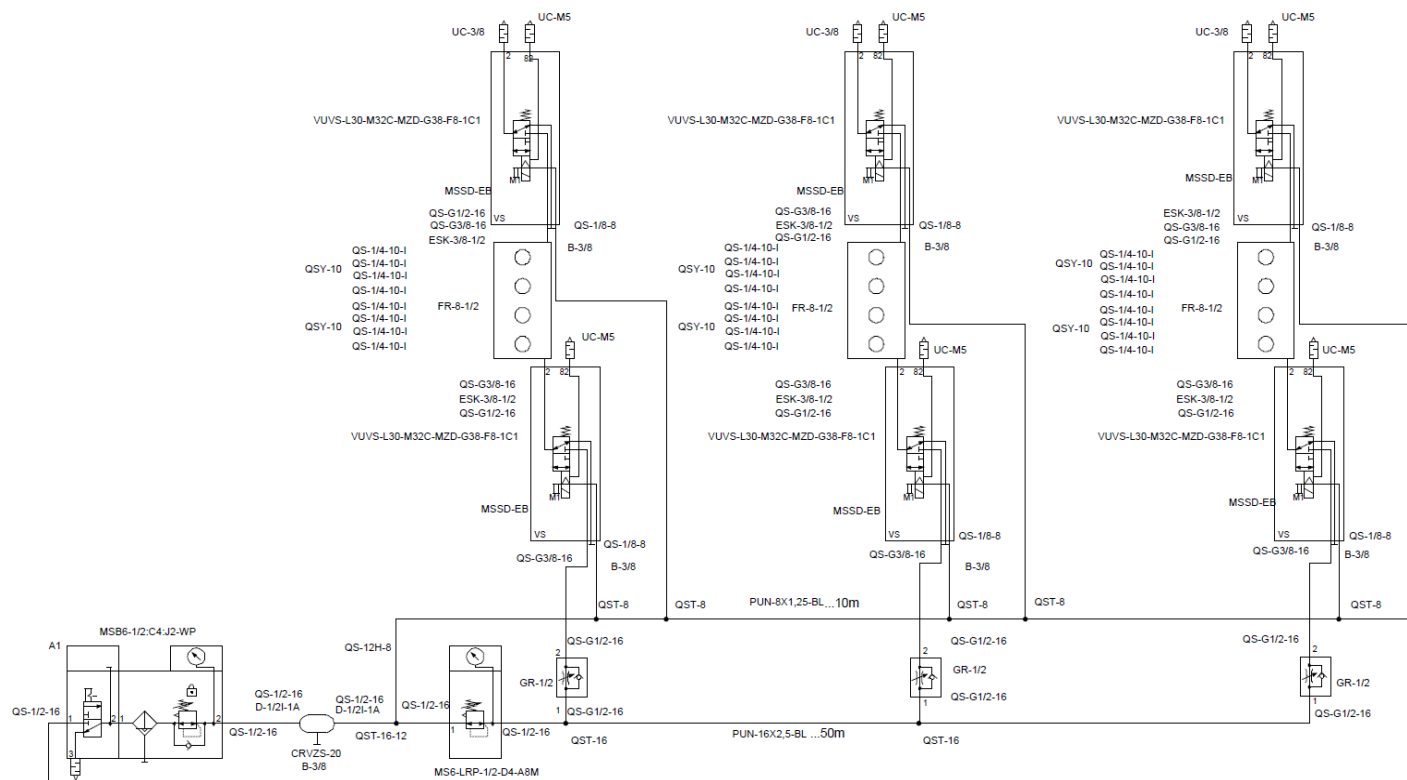
-provozní tlak [bar]: 2,5-10

-provozní napětí[VDC]: 24



Obrázek 77: Ventil VUVS 3/2 cívka

Na základě získaných zkušeností při testování bylo přistoupeno k návrhu pneumatického obvodu, který splňuje požadované vlastnosti a je zobrazen na obrázku 78.



Obrázek 78: Detailní schéma pneumatického obvodu

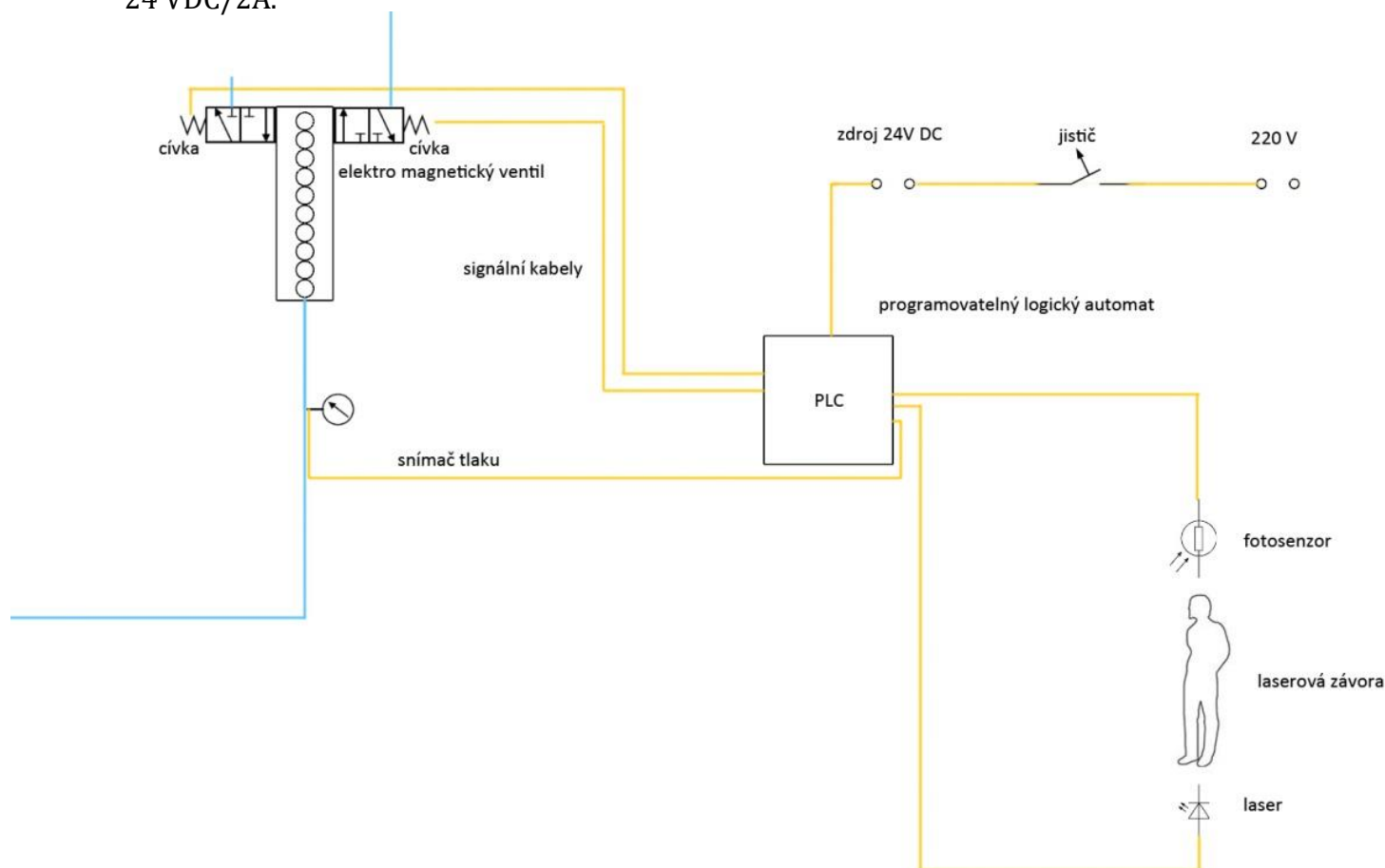
Poznámka: seznam použitých pneumatických prvků - viz. příloha č. 1

## B) ELEKTRONICKÉ ŘÍZENÍ

Po zkušenostech s mikroprocesorovou stavebnicí Arduino se dospělo k závěru, že je nezbytné vybrat k řízení více profesionální řídicí jednotku, která bude v sobě skrývat všechny potřebné vlastnosti, jako je potřebný počet vstupů a výstupů a možnost komunikace s obsluhou. Výsledkem byla volba programovatelného automatu (PLC) s displayem od firmy Unitronics typ M91, který disponuje těmito základními vlastnostmi:

- počet digitálních vstupů: 22
- počet analogových vstupů: 2 (0-10 V, 4 – 20mA)
- počet výstupů: 12 Relayových
- napájecí napětí: 24 VDC
- display: dvouřádkový

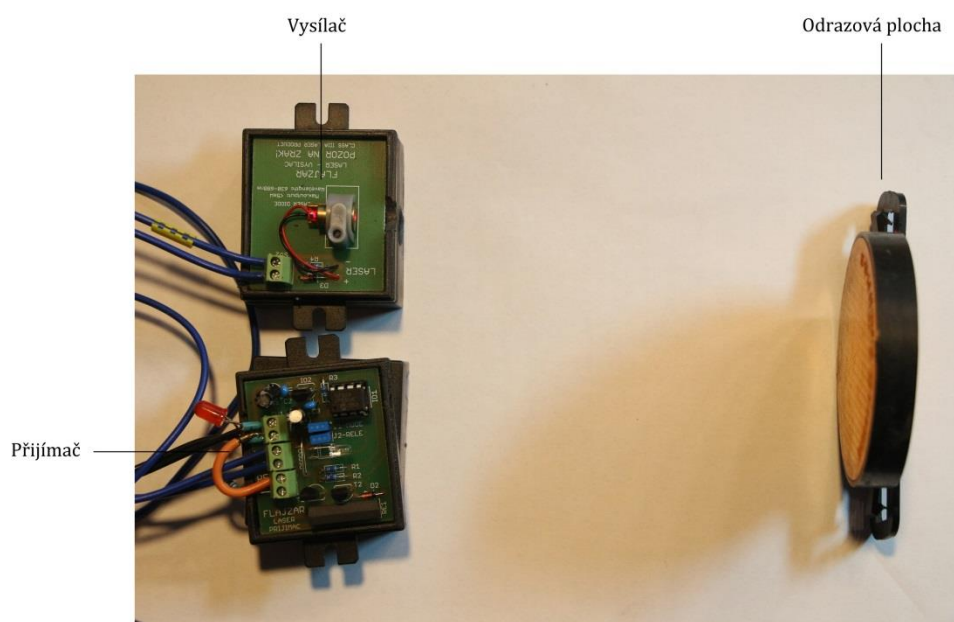
Napájení systému PLC a jednotlivých cívek ventilů je ze stejnosměrného zdroje 24 VDC/2A.



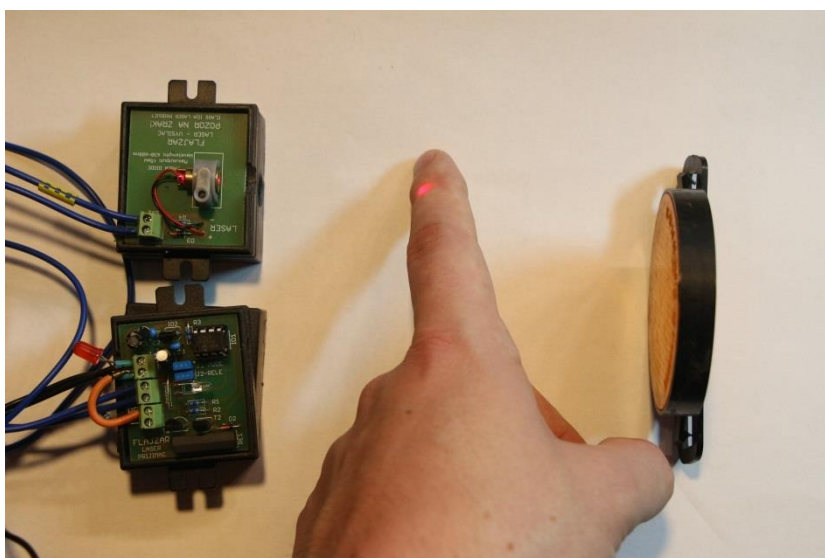
Obrázek 79: Princip řízení



K PLC byla připojena stavebnicová laserová závora s vysílačem a přijímačem, kde na vysílači je umístěna laserová dioda vysílající paprsek, který se odráží od odrazové plochy do fototranzistoru na přijímači. Při přerušení tohoto signálu relé sepne obvod a ten dodá signál do PLC. Tím se spustí naprogramovaný cyklus nafukování a vyfukování, jenž je popsán v následující kapitole programování systému.



Obrázek 80: Nepřerušená laserová závora



Obrázek 81: Přerušená laserová závora

### 2.2.3. PROGRAMOVÁNÍ SYSTÉMU

V následující odstavci bude popisována funkce algoritmu a konstrukce řídicího programu Pavilonu.

Systém řízení Pavilonu po zapnutí napájecího napětí čeká na startovací impuls od optického snímače, který snímá přítomnost pohybu osob v definovaném prostoru.

Pokud tento signál obdrží, spustí se vlastní cyklus nafukování v jednotlivých pneumatických okruzích. Velikost balónů a okamžik spuštění nafukování určuje nastavení časovačů v každém segmentu. Pro udržení pavilonu v nafouknutém stavu, je startovací impuls prodloužen dalším přednastaveným časovačem na potřebnou dobu. Po uplynutí této doby nastává cyklus vyfukování, který je zpožděn opět o nastavenou časovou prodlevu a jeho časový sled se dá přednastavit pomocí vlastních časovačů.

Balóny proti přefouknutí jsou chráněny snímačem tlaku, který je připojen na analogový vstup PLC a v programu je uveden maximální možný tlak, po jehož překročení se cyklus nafukování okamžitě zastaví.

Pro ověření funkce programu byl vytvořen jednoduchý model řízení s PLC. Na jednotlivých jeho výstupech simulovali LED diody jednotlivé cívky elektromagnetických ventilů. Zelené LED diody složili k indikaci sepnutí cívek nafukování a červené LED diody k indikaci sepnutí vyfukování viz. obrázek 82.

Přiřazení jednotlivých funkcí vstupů/ výstupů a časovačů PLC v tomto zkušebním modelu je následující:

#### Tlačítka klávesnice

0	
1	Nafukování 1. ručně
2	Nafukování 2. ručně
3	Nafukování 3. ručně
4	Vypouštění 1. ručně
5	Vypouštění 2. ručně
6	Vypouštění 3. ručně
7	AUTOMAT
8	RUČNĚ
9	NASTAVENÍ                      tlak, časovače

#### Digitální vstupy

I 0	Optické čidlo	start nafukování, vyfukování
I 1	Tlačítko	start nafukování, vyfukování

#### Analogové vstupy

I 14	Tlak	max. tlak
------	------	-----------

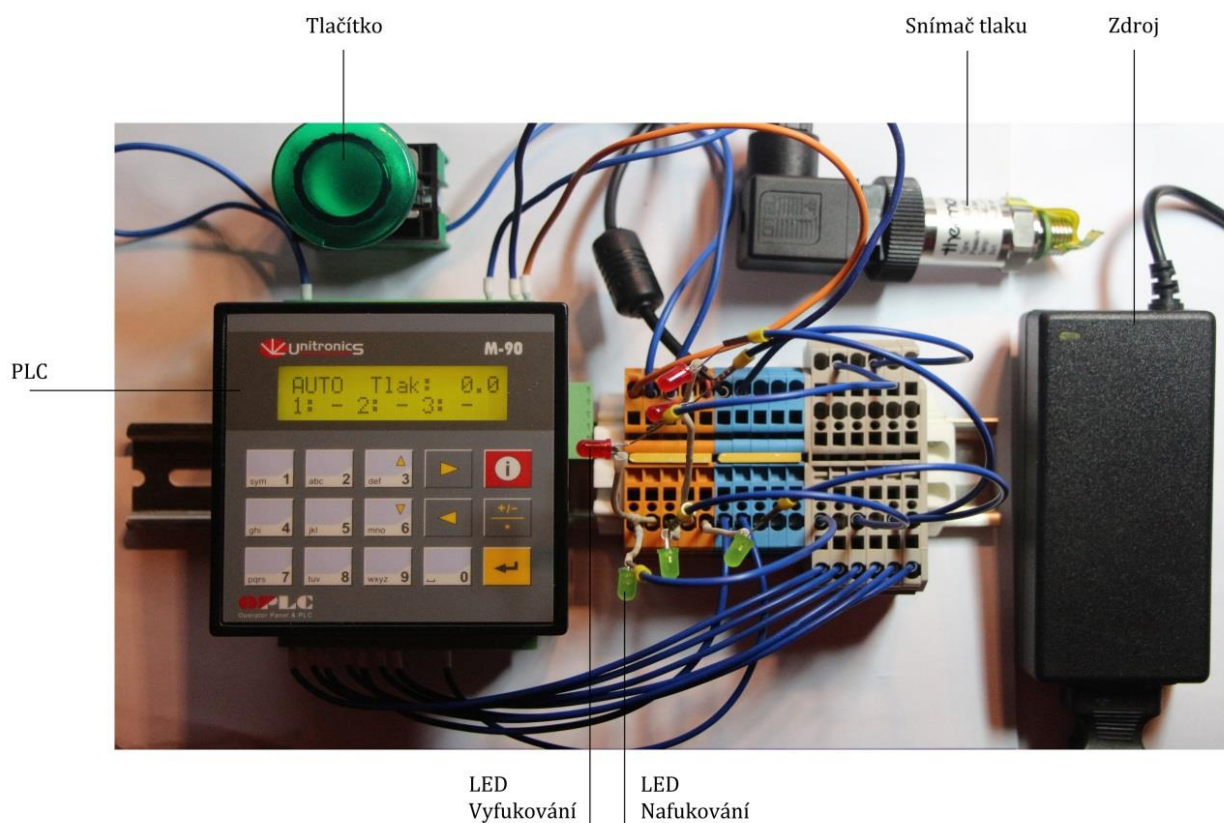
## Digitální výstupy

O 00	YV00	nafukování 1. obvodu
O 01	YV01	vypouštění 1. obvodu
O 02	YV02	nafukování 2. obvodu
O 03	YV03	vypouštění 2. obvodu
O 04	YV04	nafukování 3. obvodu
O 05	YV05	vypouštění 3. obvodu

## Časovače

T1	zpoždění nafukování 1. okruhu	0-60s
T2	zpoždění nafukování 2. okruhu	0-60s
T3	zpoždění nafukování 3. okruhu	0-60s
T4	zpoždění vypouštění 1. okruhu	0-60s
T5	zpoždění vypouštění 2. okruhu	0-60s
T6	zpoždění vypouštění 3. okruhu	0-60s
T7		
T8		
T9		
T10	nafukování 1. okruhu	0-120s
T11	nafukování 2. okruhu	0-120s
T12	nafukování 3. okruhu	0-120s
T13	vypouštění 1. okruhu	0-120s
T14	vypouštění 2. okruhu	0-120s
T15	vypouštění 3. okruhu	0-120s
T16		
T17		
T18		
T19	Zpoždění odpadu nafukování	0-300s
T20	zpoždění odpadu vypouštění	0-300s

Dalším krokem bylo napsání vlastního programu, viz. příloha č. 2 v editoru jazyka Ladder logic pro konkrétní konfiguraci PLC M91. Tento program byl nahrán do paměti automatu přes USB / RS485 převodník. A na modelu řízení byla ověřována jeho správná funkčnost.

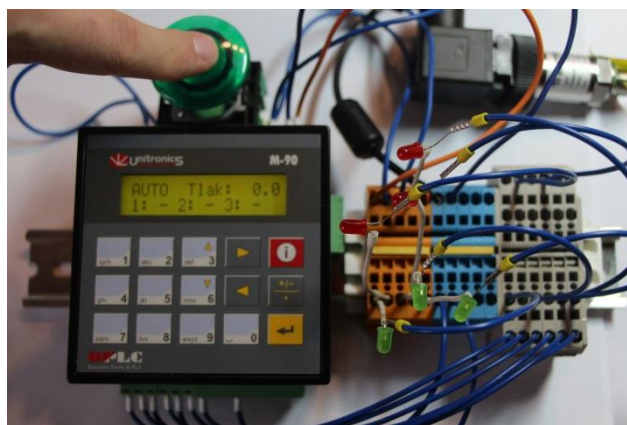


Obrázek 82: Zkušební model řízení s PLC

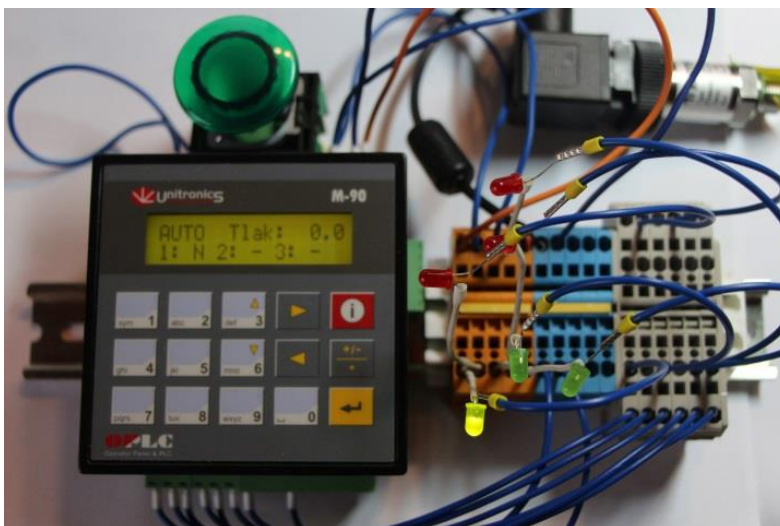
Program má dvě základní polohy:

AUTO (automatické ovládání)

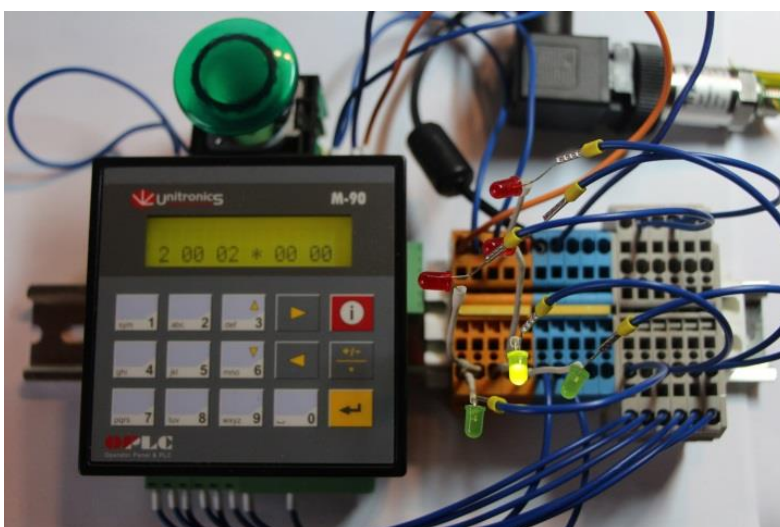
Po zachycení startovacího impulsu, v tomto případě zmačknutí tlačítka, automat spustí cyklus pro nafukování. Po uplynutí času T1 (5s) se relé na výstupu 00 sepne a zelená LED se rozsvítí po dobu času T10.



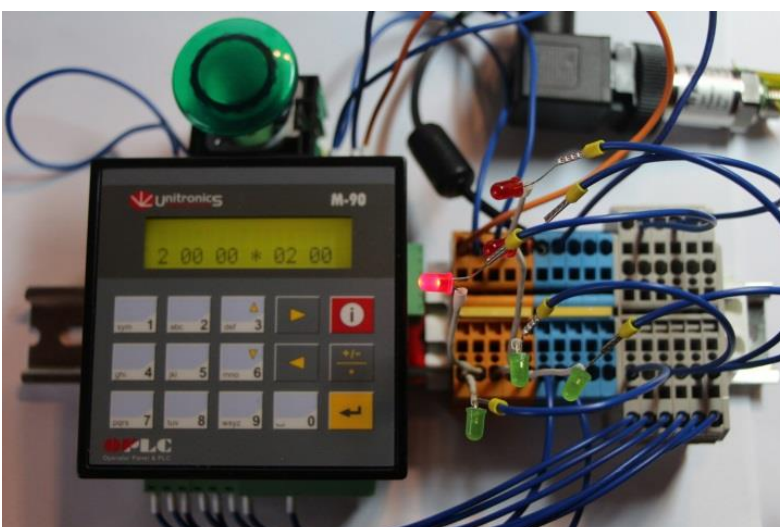
Obrázek 83: Zmačknutí tlačítka (vyslání impulsu pro cyklus nafukování)



Obrázek 84: Zelená LED indikující cyklus nafukování prvního okruhu svítící po dobu času T10



Obrázek 85: Zelená LED indikující cyklus nafukování druhého okruhu svítící po dobu času T11

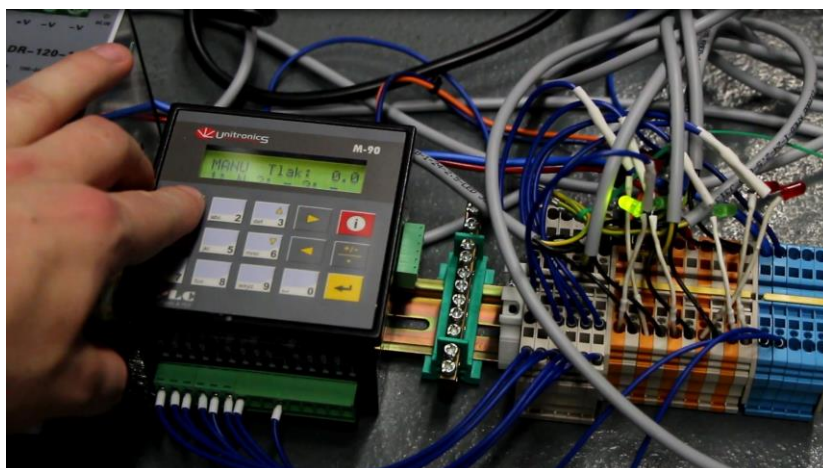


Obrázek 86: Červená LED indikující cyklus vyfukování prvního okruhu svítící po dobu času T13

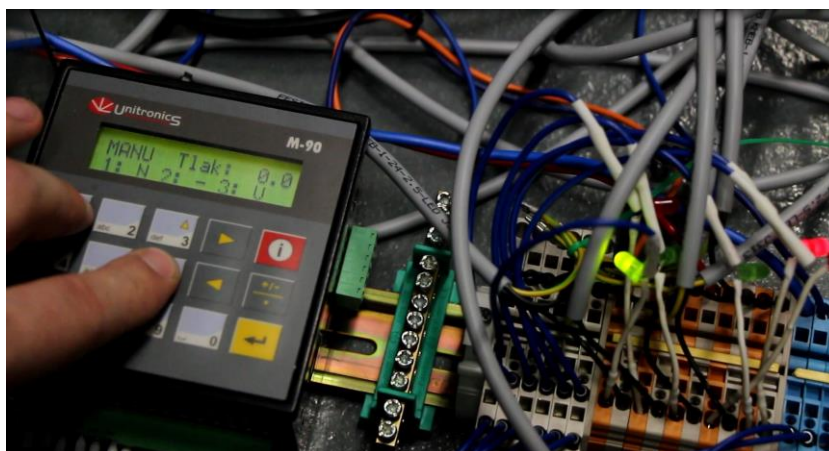


### MANU (manuální ovládání ovládání)

V manuálním módu lze ovládat jednotlivé pneumatické obvody pomocí klávesnice na PLC. Ke každému ventilu je přiřazeno číslo na klávesnici.



Obrázek 87: Zelená LED indikující nafukování prvního okruhu svítí po dobu stlačení klávesnice



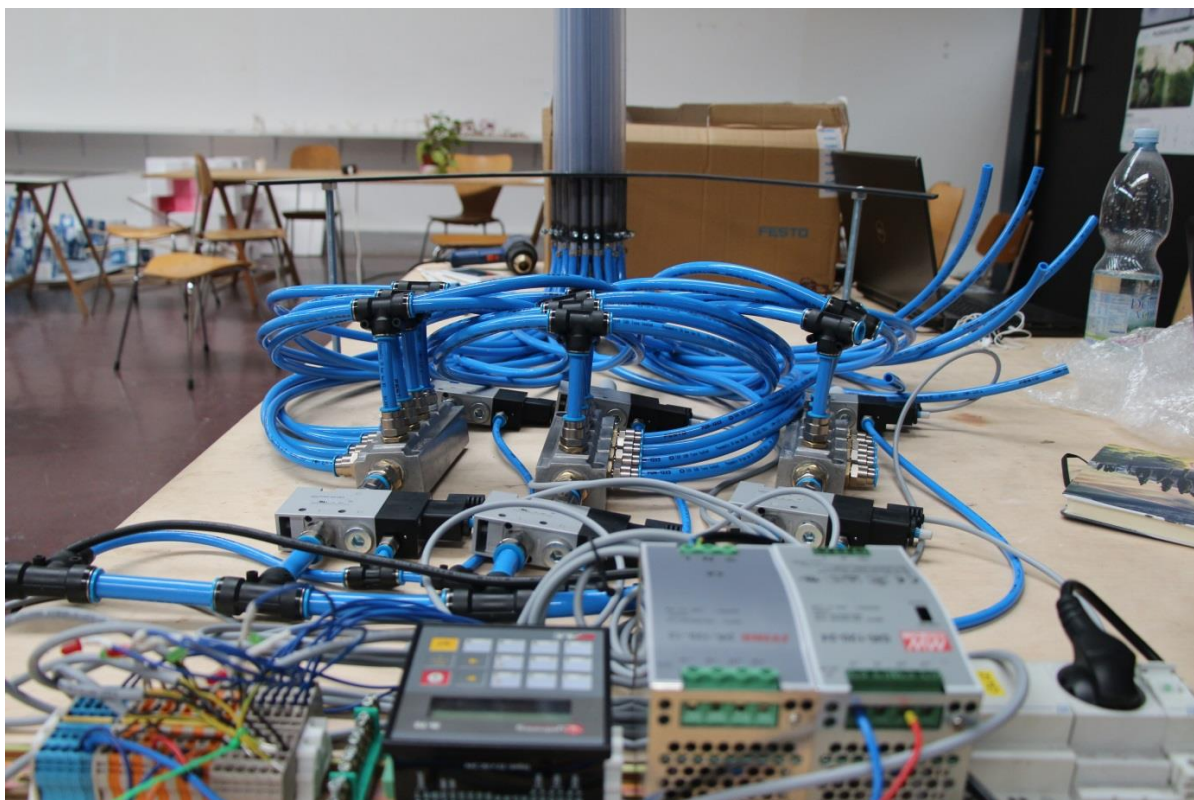
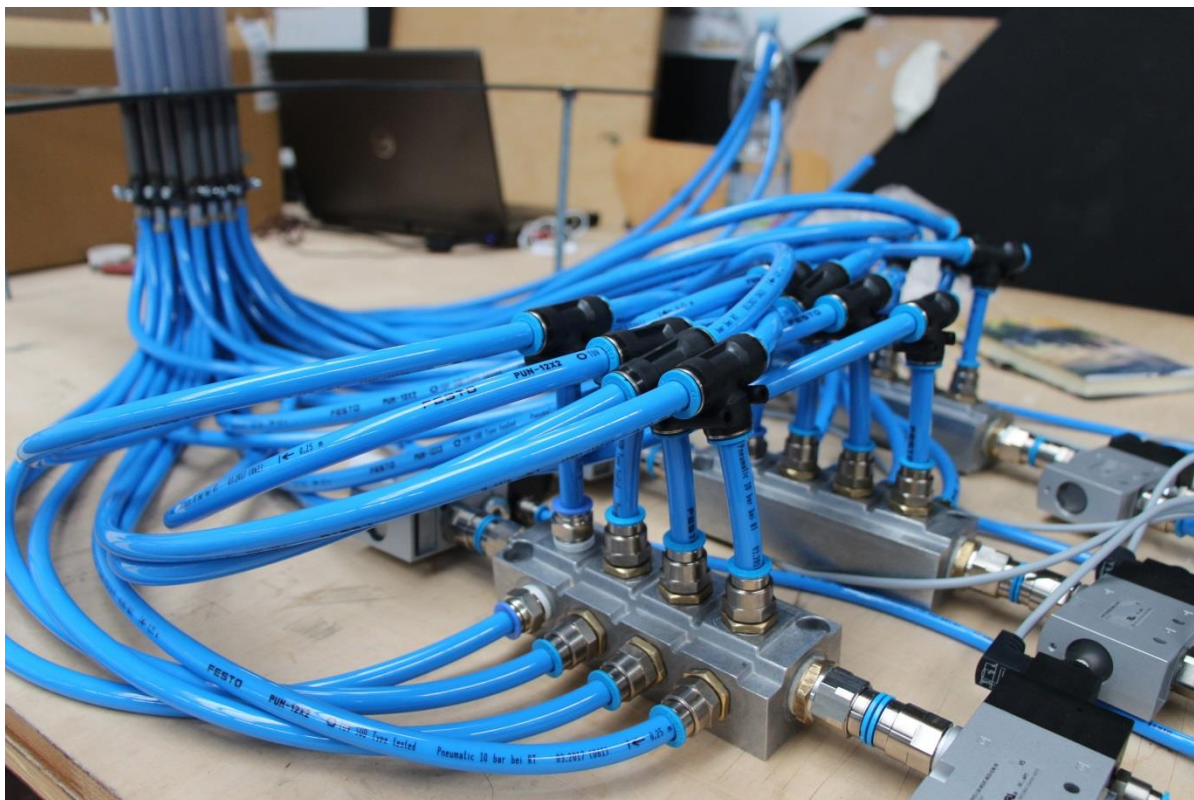
Obrázek 88: Červená a zelená LED indikující vyfukování čtvrtého okruhu a nafukování prvního okruhu zároveň svítí po dobu času stlačení klávesnice



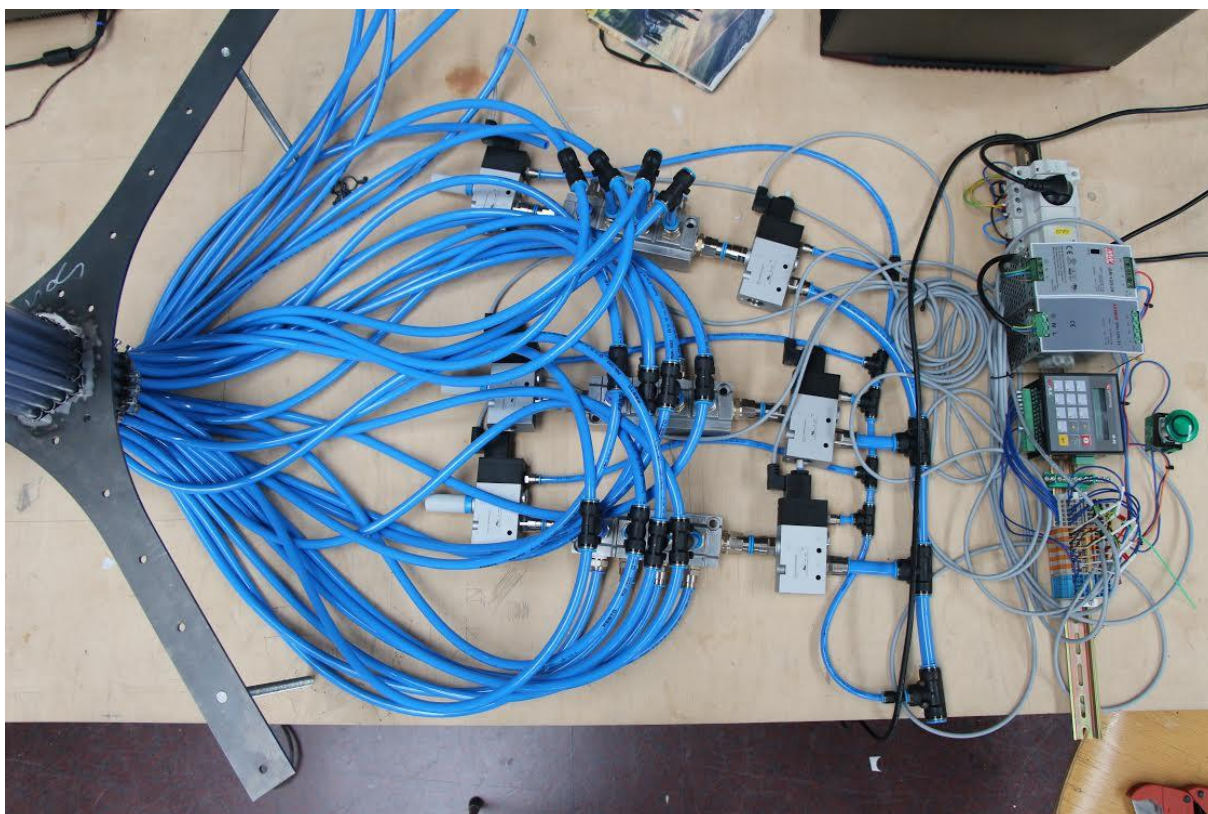
### 2.2.4. Kompletace Prototypu

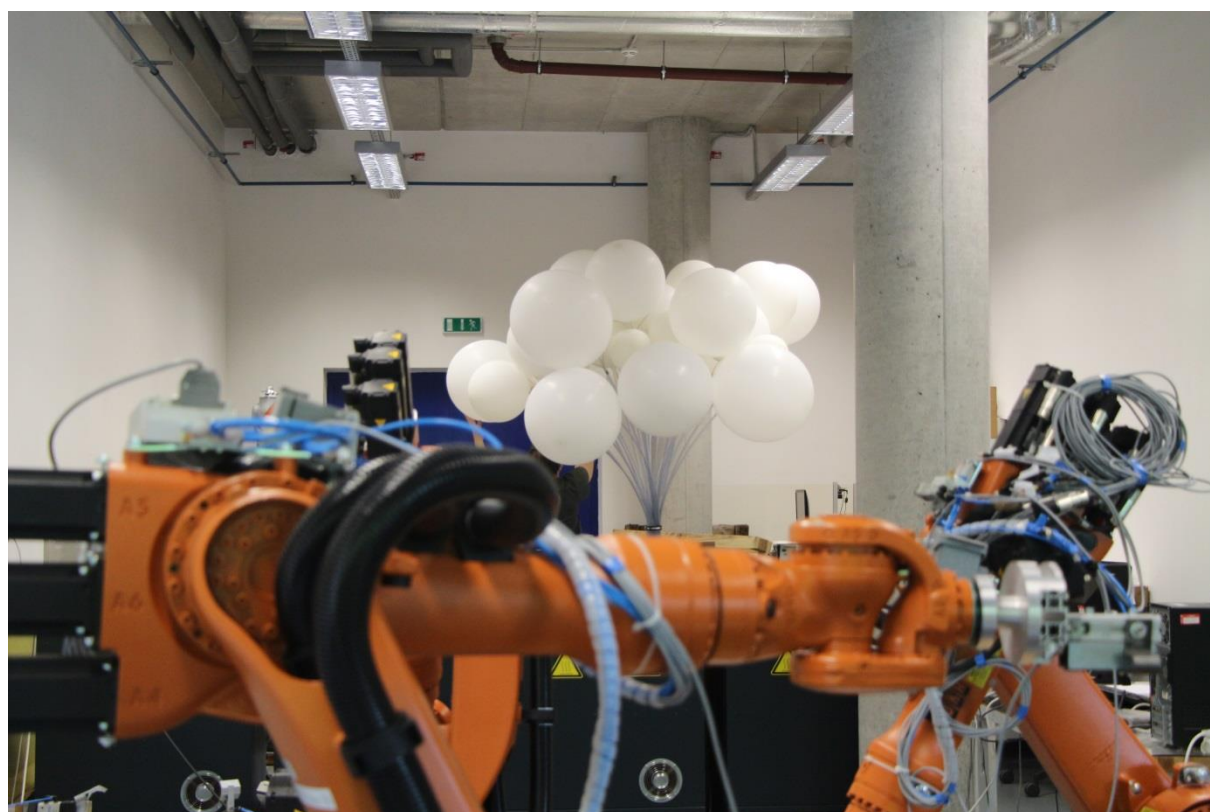
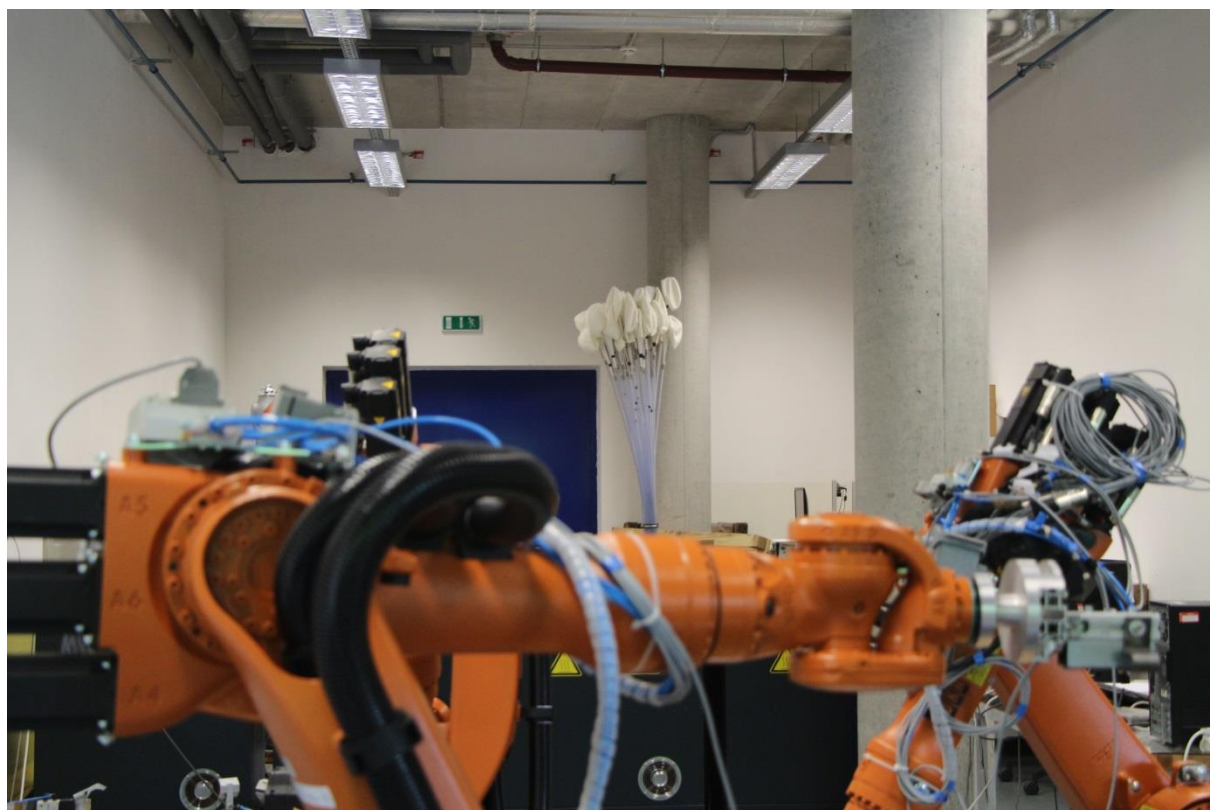
Kompletace Prototypu se skládala z několika různých operací týkajících se hlavně montáže pneumatického obvodu. Zde bylo nutné správně rozvrhnout obvod tak, aby vyšel počet zkrácených 36ti kusů hadice do její celkové délky. Dále bylo nutné osadit všechny komponenty od ventilů až po rozbočovače správným nástrčným šroubením. Poté se cívky jednotlivých ventilů pomocí signálních kabelů připojily do řídicí jednotky a jsou rozdělené podle jednotlivých okruhů a funkce (nafukování/vyfukování). Zkrácené hadice na délku 90cm bylo poté potřeba nasadit přes již zmiňovanou spojku na plastové trubky Prototypu. Zde bylo zapotřebí hadici nahřívát horkovzdušnou pistolí, poté nasadit na spojku a ihned zajistit stahovatelnou objímkou. Všech 36 těchto hadic bylo připojeno do rozbočovačů pomocí T spojek a nástrčného šroubení. Poté se musely přidělat na všechny tyče podpěry balónů. To znamenalo každý jednotlivý segment podpěry natvarovat do požadovaného rádiusu a zasunout do objímky. V tomto stádiu už k pavilonu zbývalo jen přidělat balóny na konce tyčí. Poté se celý pavilon přenesl ke zdroji vzduchu, kde byly následně provedeny první reálné testy celkové funkčnosti.









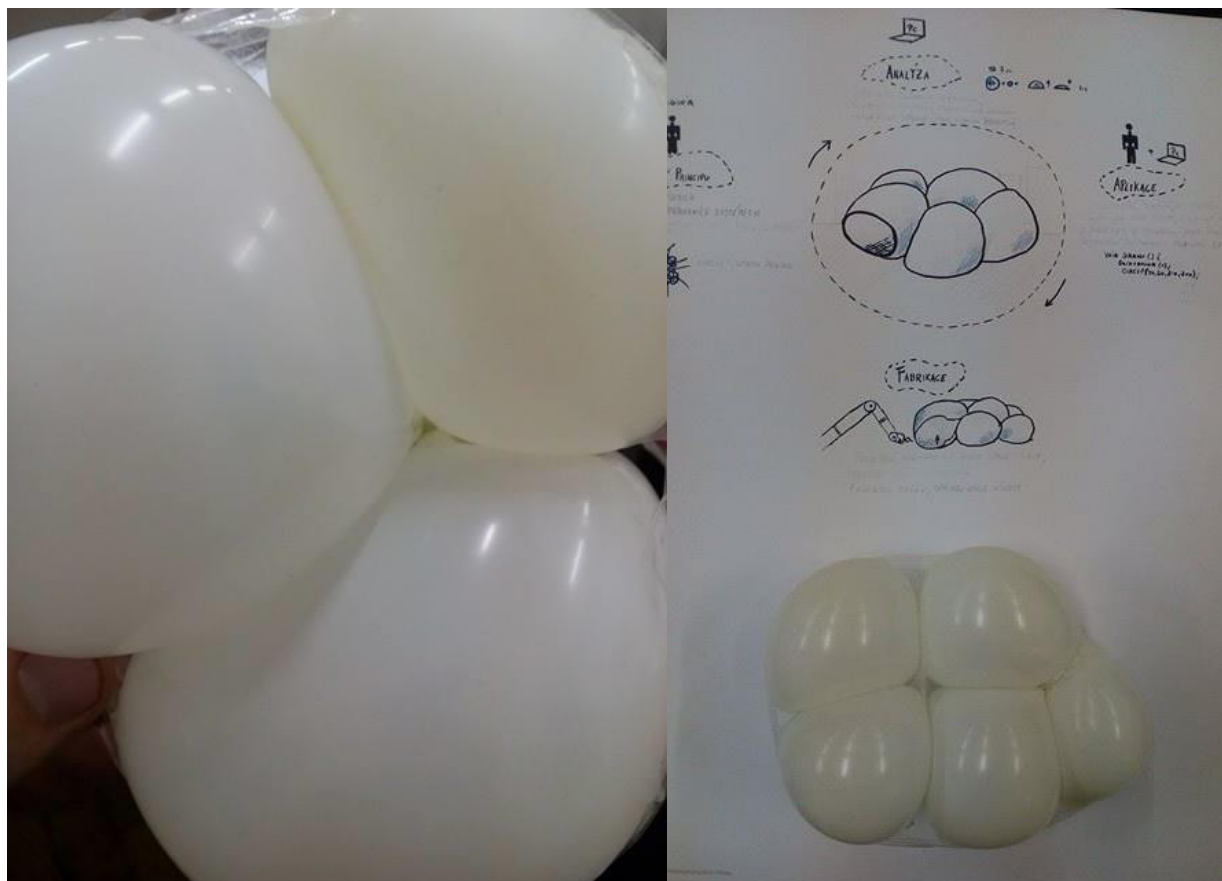






## 2.4. Možnosti budoucího rozvoje

Tento Prototyp je samozřejmě ve stádiu vývoje. Jedním z jeho hlavních cílů bylo znázornit aplikaci kinetických a responzivních systémů, spojenou s jakýmsi typem růstu a samoorganizace. Tyto cíle Prototyp do velké míry splnil. Je to tak responzivní stavba rozrůstající se svým vlastním pohybem, jejíž chování ovládají sami kolemjdoucí lidé. Dá se zde ale určitě přemýšlet o dalším rozvoji nebo o posunutí konceptu například více k materiálovým vlastnostem. Převážně se v této práci jednalo o sestavení kompletního systému, kde 36 samostatných jednotek je aktivně řízeno, a spolupůsobením všech parametrů vytváří výsledný efekt. Lze jednoduše si představit další možnosti skladby komponentů tohoto systému, kde formální tvar struktury bude zcela jiný, nicméně principy celkového pojetí zůstanou jako konstanta. Zajímavé by zde mohlo být zaměřit se více na vlastnosti balónů ve smyslu jejich tvarové deformace a chování při působení různých forem tlaku. Skvělé vlastnosti elasticity a pružnosti se dají využít například při vyplnění určitého ne geometricky ohraničeného prostoru. Můžeme tak přemýšlet například nad strukturou, jejíž otvory by se vyplňovaly těmito elastickými balóny. Struktura by tak mohla dýchat nebo být zcela utěsněna a uzavřena. Obsah tedy v zásadě zůstává nezměněn spolu s pneumatickým konceptem, mění se pouze forma.





## ZÁVĚR

---

Architektura stále hledá nové směry a tendence, kterými se snaží obohatit prostor, který nás obklopuje, ale i naše vnímání každodenního života. V tomto smyslu se podařilo vytvořit jedinečný příklad netradiční stavby, jejíž principy se více přibližují podstatě přírody a samotného člověka. Příklad, který se snaží nastínit nové vnímání architektury v jiném světle, než jsme byli doposud zvyklí.

V bakalářské práci byl zpracován konkrétní projekt funkčního prototypu responsivního kinetického systému s využitím pneumatického systému, který můžeme v globálním smyslu finálního návrhu označovat jako Pavilon. V úvodu byl zpracován designový a koncepční návrh tohoto Pavilonu podpořený simulacemi a analýzami. Po tomto prvním kroku bylo přistoupeno ke konstrukční práci, včetně řešení jednotlivých detailů budoucí realizace. Nezbytnou součástí konstrukce byla řada simulací, kterými byla ověřována navržená konstrukční řešení. Modelové zkoušky byly prováděny jak v počítačových simulacích, tak i pomocí praktických zkoušek jednotlivých elementů systému Prototypu.

Vlastní realizace Prototypu si vyžádala i mezioborové znalosti, tedy proniknutí do základů dalších oborů, které přímo nesouvisí s designem. K návrhu funkčního pneumatického obvodu je potřeba znalostí funkcí a vlastností jednotlivých prvků z oblasti pneumatiky i programování. Pro ovládání funkce pneumatického obvodu byl potřebný výběr vhodné řídicí jednotky a tvorba programu, který oživí celý systém. Vybraný řídicí systém umožní snadnou změnu chování pneumatického obvodu, potažmo i Pavilonu, jako jsou sekvence nafukování jednotlivých sekcí, rychlost nafukování a vyfukování balonů a velikost balonů v jednotlivých sekcích.

Při výběru elementů Prototypu bylo nezbytné přihlídnout i k ekonomickému hledisku, proto bylo nutné některé návrhy znovu přepracovat, aby bylo možné prototyp vůbec realizovat.

Logistiku, kdy bylo potřeba zajistit všech 340 dílů, ze kterých se Prototyp

skládá, provázely i některé humorné okamžiky, kdy bylo například potřeba pro zkoušky transportovat 36 šestimetrových PPR trubek s použitím městské hromadné dopravy.

Vlastní montáž a funkční ověření probíhalo v prostorách Fakulty umění a architektury a Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace CXI TUL.

Technické poznatky:

Jedním z mnoha poznatků zkoušek je zjištění, že by byl nutný vývoj vhodné latexové směsi, ze které jsou vyráběny balony, a to s ohledem na zachování jejich elasticity potřebné tuhosti a barevné stálosti, které se mohou v dlouhodobém užívání měnit vlivem UV záření a dalších okolních vlivů.

Na vhodné volbě tuhosti materiálu balónů závisí vlastnosti celého Pavilonu, jak se sousední balóny navzájem ovlivňují při procesu nafukování a vyprazdňování, vše má i vliv na stabilitu Pavilonu. Při pokračování ve vývoji by bylo vhodné dále rozpracovat detail podpěry balonu, který ovlivňuje jeho bezproblémové nafukování a vyprazdňování. Výsledkem několikaměsíční práce je funkční Prototyp jednoho segmentu Pavilonu, na kterém je možné dále ověřovat jednotlivé jeho části pro budoucí rozvoj projektu.

Když se nadneseme nad technické problémy a možné nedostatky, dá se říct, že nejdůležitější poznatek z této práce je způsob interdisciplinárního navrhování a úzkého spojení s výrobou Prototypu, na rozdíl od klasického způsobu navrhování, který neumožňuje dostatečnou flexibilitu pro vytvoření kvalitního návrhu.

## SEZNAM ZDROJŮ

---

1. **Ant Farm.** [online] <http://www.spatialagency.net/database/ant.farm>
2. **Ant Farm, Inflatocookbook, 1971.**
3. **Coop Himmelb(l)au: Say himmelblau.** [online] <http://www.coop-himmelblau.at/architecture/projects/the-cloud>
4. **Buckminster Fuller.** [online] <http://www.spatialagency.net/database/buckminster.fuller>
5. **Biomimetic research pavilion, Prof. Achim Menges ICD, Prof. Jan Knippers ITKE, 2013.** [online] <http://www.itke.uni-stuttgart.de/>  
<https://vimeo.com/98783849>
6. **Biomimetic research pavilion, Prof. Achim Menges ICD, Prof. Jan Knippers ITKE, 2014/15.** [online] <http://www.itke.uni-stuttgart.de/>  
<https://vimeo.com/158804653>
7. **Theodore Spyropoulos Studio, Behavioural Machines, AADRL.** [online] <http://drl.aaschool.ac.uk/behavioural-machines/>
8. **Ronald Van Der Meijs, A Time Capsule of Life, 2013.** [online] <http://www.ronaldvandermeijs.nl/A-Time-Capsule-of-Life#.WRIB6VXyjDA>
9. **William Zuk, Kinetic Architecture, 1970.**
10. **Michael Fox, Miles Kemp, Interactive Architecture, 2010.**
11. **Doris Sung, Metal that breathes.** [online] <http://dosu-arch.com/smartwindow.html#>
12. **Iakov Chernikov, 101 Architectural Fantasies, 1933.**
13. **Henning Larsen Architects, University of Southern Denmark Kolding Campus 2015.** [online] <http://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henning-larsen-architects>

14. **Aedas, Al-Bahar Tower- Dubai, 2012. [online]**  
<http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas>
15. **Grasshopper, algorithmic modeling for Rhino. [online]**  
<http://www.grasshopper3d.com/>
16. **Firefly, plug-in for Rhino. [online]**  
<http://www.food4rhino.com/app/firefly>
17. **Festo s.r.o. [online]**  
<https://www.festo.com>
18. **Festo s.r.o., ventily VUVS, katalog pro samostatné připojení, rozšířené charakteristiky. [online]**  
[https://www.festo.com/net/cs\\_cz/SupportPortal/default.aspx?tab=0&q=8059146](https://www.festo.com/net/cs_cz/SupportPortal/default.aspx?tab=0&q=8059146)
19. **Vlastimil Slinták, Arduino dokumentace. [online]**  
<http://docs.uart.cz/docs/io-piny/>
20. **Arduino, firemní dokumentace.**
  - Arduino, language Reference. [online]  
<https://www.arduino.cc/>
21. **U90 Ladder Software Manual. [online]**  
<https://unitronicsplc.com/software-u90/>
22. **Arturo Tedeschi, AAD Algorithms-Aided Design, 2014.**
23. **Unitronics - firemní dokumentace**
  - U90 Ladder Software ver.6.6.28 -Manual
  - M91-2-R34 Install Guide
  - M91-2-R34 Specification
24. **Almio Plus - firemní dokumentace**
  - katalogový list Al trubky [online]  
<http://www.almioplus.cz/>
25. **Fatra napajedla s.r.o. - svařované výrobky. [online]**

<http://www.fatra.cz/produkty/hracky-a-dalsi-svarovane-vyrobky/>

26. **Vulcan Medical s.r.o. - zdravotnické výrobky. [online]**

<http://www.vulkanmedical.cz/zdravotnicke-rukavice-a-material-m/>

27. **Balónky s.r.o. [online]**

<https://www.balonky.cz/>

28. **Foamalux, pěněné PVC desky. [online]**

<http://www.plexisklo.eu/penene-pvc-desky-foamalux/>

29. **Flajzar s.r.o., laserová závora. [online]**




[http://flajzar.cz/eshop/index.php?id\\_product=714&controller=product&search\\_query=laserova+zavora&results=2](http://flajzar.cz/eshop/index.php?id_product=714&controller=product&search_query=laserova+zavora&results=2)

## SEZNAM PŘÍLOH

## Příloha č. 1- Seznam použitých pneumatických prvků

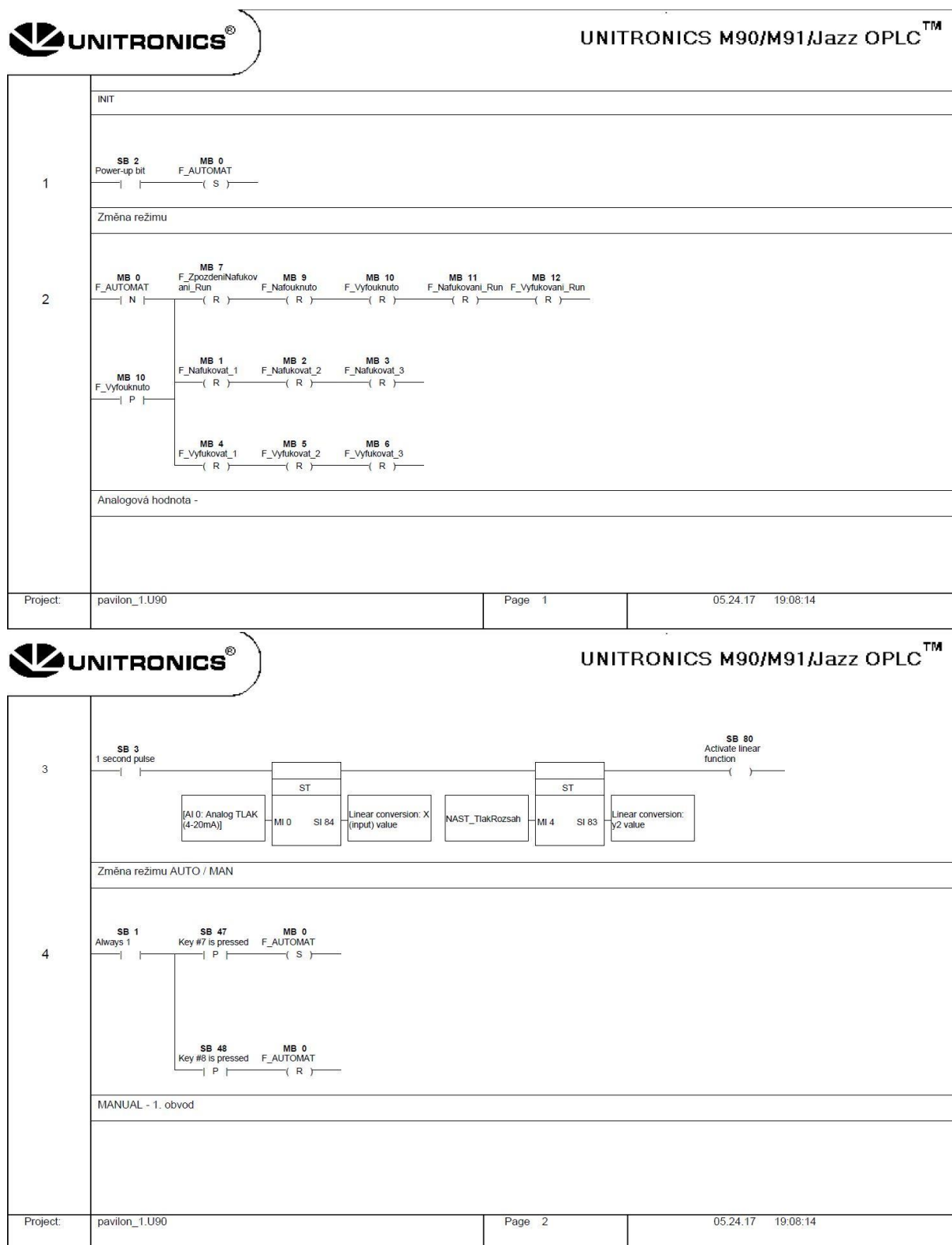
Označení		Číslo zboží
nástrčné šroubení  	Pozice 10 <b>QS-G3/8-16</b> nástrčné šroubení nástrčné šroubení <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	186347
záslepka  	Pozice 20 <b>B-3/8</b> dle DIN 908, s těsnicím kroužkem. Záslepka <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	3570
nástrčné šroubení  	Pozice 30 <b>QS-1/8-8</b> nástrčné šroubení nástrčné šroubení <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	153004
Y-spojka s nástrčnými koncovkami  	Pozice 40 <b>QSY-10</b> Y-spojka s nástrčnými koncovkami Y-spojka s nástrčnými koncovkami <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	153151
tlumič hluku  	Pozice 50 <b>UC-M5</b> z plastu tlumič hluku <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	165003
zásuvka  	Pozice 60 <b>MSSD-EB</b> Pro elektromagnetické cívky a ventily, připojovací obrazec podle DIN EN 175 301, konstrukční tvar C. Zásuvka <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	151687
elektromagnetický ventil  	Pozice 70 <b>VUVS-L30-M32C-MZD-G38-F8-1C1</b> Elmag. ventil <b>dodací lhůta: 2 (týdny)</b>	575571
nástrčné šroubení  	Pozice 80 <b>QS-1/2-16</b> nástrčné šroubení nástrčné šroubení <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	153011



<b>T-spojka s nástrčnými koncovkami</b>      	<b>Pozice 90</b> <b>QST-8</b> T-spojka s nástrčnými koncovkami T-spojka s nástrčnými koncovkami <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	153130	
<b>rozdělovací blok</b>      	<b>Pozice 100</b> <b>FR-8-1/2</b> rozdělovací blok rozdělovací blok <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	6411	
<b>tlumič hluku</b>      	<b>Pozice 110</b> <b>UC-3/8</b> tlumič hluku <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	1707427	
<b>jednosměrný škrticí ventil</b>      	<b>Pozice 120</b> <b>GR-1/2</b> jednosměrný škrticí ventil jednosměrný škrticí ventil <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	3720	
<b>nástrčné šroubení</b>      	<b>Pozice 130</b> <b>QS-G1/4-10-I</b> nástrčné šroubení nástrčné šroubení <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	186112	
<b>T-spojka s nástrčnými koncovkami</b>      	<b>Pozice 140</b> <b>QST-16</b> T-spojka s nástrčnými koncovkami T-spojka s nástrčnými koncovkami <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	153133	
<b>redukce</b>      	<b>Pozice 150</b> <b>D-1/2I-1A</b> redukční koncovka redukční koncovka <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	197634	
<b>nástrčné šroubení</b>      	<b>Pozice 160</b> <b>QS-G1/2-16</b> nástrčné šroubení nástrčné šroubení <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b>	186105	

<p>hadice z plastu</p>      	<p>Pozice 170  <b>PUN-8X1,25-BL</b>  Vnější kalibrace, pro nástrčná připojení QS, šroubení CN a CK, z polyuretanu (nepřípustné pro použití při výrobě potravin).  Hadice z plastu  <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b></p>	159666
<p>nástrčná spojka</p>      	<p>Pozice 180  <b>QS-12H-8</b>  s nástrčnou dutinkou.  nást. připojení  <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b></p>	130624
<p>hadice z plastu</p>      	<p>Pozice 190  <b>PUN-16X2,5-BL</b>  Vnější kalibrace, pro nástrčná připojení QS, šroubení CN a CK, z polyuretanu (nepřípustné pro použití při výrobě potravin).  Hadice z plastu  <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b></p>	159672
<p>T-spojka s nástrčnými koncovkami</p>      	<p>Pozice 200  <b>QST-16-12</b>  redukční.  Spojka T  <b>dodací lhůta: 2-3 dny</b></p>	130616

**Příloha č. 2- Ukázka vlastního programu řídicího systému, v editoru jazyka Ladder logic pro konkrétní konfiguraci PLC M91**





UNITRONICS M90/M91/Jazz OPLC™

5	<p> <b>MB 0</b>      <b>SB 41</b>      <b>MB 1</b>  <b>F_AUTOMAT</b>    Key #1 is pressed    <b>F_Nafukovat_1</b>  </p> <p> <b>SB 41</b>      <b>MB 1</b>  Key #1 is pressed    <b>F_Nafukovat_1</b>  </p> <p> <b>SB 44</b>      <b>MB 4</b>  Key #4 is pressed    <b>F_Vyfukovat_1</b>  </p> <p> <b>SB 44</b>      <b>MB 4</b>  Key #4 is pressed    <b>F_Vyfukovat_1</b>  </p>		
	MANUAL - 2. obvod		
Project:	pavilon_1.U90	Page 3	05.24.17 19:08:14



UNITRONICS M90/M91/Jazz OPLC™

6	<p> <b>MB 0</b>      <b>SB 42</b>      <b>MB 2</b>  <b>F_AUTOMAT</b>    Key #2 is pressed    <b>F_Nafukovat_2</b>  </p> <p> <b>SB 42</b>      <b>MB 2</b>  Key #2 is pressed    <b>F_Nafukovat_2</b>  </p> <p> <b>SB 45</b>      <b>MB 5</b>  Key #5 is pressed    <b>F_Vyfukovat_2</b>  </p> <p> <b>SB 45</b>      <b>MB 5</b>  Key #5 is pressed    <b>F_Vyfukovat_2</b>  </p>		
	MANUAL - 3. obvod		
Project:	pavilon_1.U90	Page 4	05.24.17 19:08:15